TEXT PROBLEM WITHIN THE BOOK ONLY

الجامعة المصرية

# علم الطبيعة

## خواصّ المادّة

مجموع المحاضرات التي ألقاها بالجامعة المصرية حضرة الفاضل

اسماعيل حسنين بك

استاذ علم الطبيعة بالجامعة المصرية وناظر مدرسة المعلمين الخديوية

« الجزء الأول »



مطبعة الجريدة بسراي البارودي بغيط العدة بمصر

# الجامعة المصرية

# علم الطبيعة

## خواصّ المادّة

مجموع المحاضرات التي ألقاها بالجامعة حضرة الفاضل

اسماعيل حسنين بك
استاذ علم الطبيعة بالجامعة المصرية وناظر مدرسة المعلمين الخديوية

« الجزء الاول »



طبع بمطبعة الجريدة بسراي البارودي بغيط العدة

بسم الله الرحمن الرحيم

# التحرك

## ( ١ ) الحركة المنتظمة والحركة المتغيرة

(١) السكون والحركة — يقال للجسم ساكن اذا حفظ وضعا واحدا ومتحرك اذا شغل على التوالي أوضاعاً مختلفة

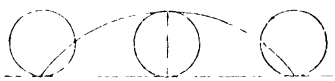
يرى أن التعريف بسيط غير أنه من أصعب الامور الحكم على الجسم بالسكون أو الحركة اذ لايمكن الحكم بذلك الا اذا قورن الجسم بالاجسام الاخرى التي تحيط به على أنه لا وجود للسكون المطلق اذ من المعلوم أن جميع الاجسام الموجودة على سطح الكرة الارضية مشتركة معها في دورانها حول محورها وحول الشمس

ومن هنا يعلم أن ما يمكن الحكم به والبحث فيه انما هو السكون النسبي والحركة النسبية فقط فيقال ان الجسم ساكن بالنسبة لآخر اذا شغل وضعاً واحداً بالنسبة اليه ويقال له متحرك اذا شغل اوضاعا تتغير على التوالي بالنسبة للجسم المذكور

ولتعيين حركة جسم نبحث عن حركة نقطة منه ونختارها أبسط جميع نقطه حركة فاذا أريد مثلا تعيين حركة كرة تتدحرج نختار حركة مركزها لانه لو اختيرت نقطة

من سطحها كانت حركتها معقدة بالنسبة لحركة المركز اذ انها تكون متحركة بحركة الكرة العمومية وحركة أخرى حول محور كثيراً ما يكون متغير الوضع وبهذا الاعتبار يؤول البحث في حركة جسم الى البحث في حركة احدى نقطه

(٢) خط سير الحركة — لتعيين حركة نقطة يجب أولا تعيين خط سيرها وهو الخط المستقيم او المنحني الذي تسير تبعاً له ويقال للحركة مستقيمة اذا كان خط سيرها مستقيما ودائرية اذا كان خط سيرها محيط دائرة وقد يكون خط سير الحركة معقداً كخط سير نقطة من محيط عجلة عربة سائرة فالخط المذكور يكون اذا قلب بأن جعل عاليه سافله كالحبل المربوط من طرفيه على وضع أفقي وعلى العموم فخط سير الحركة هو الخط الذي ترسمه النقطة المتحركة ويكون غالباً ذا خاصة هندسية



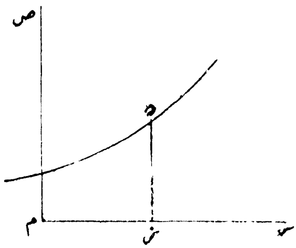
شكل (١)

(٣) قانون الحركة — متى علم خط سير الحركة وجب لتعيينها تعييناً تاماً معرفة وضع النقطة المتحركة على خط سيرها في أي لحظة تراد فاذا علم مثلا أن الحركة مستقيمة وكان من الممكن معرفة وضع المتحرك على خط سيره المستقيم أي بعده عن نقطة ثابتة تسمى نقطة الاصل في أي لحظة تراد كانت الحركة معينة تعييناً تاماً

ويمكننا معرفة وضع النقطة في الازمنة المختلفة بانشاء جدول تبين فيه الازمنة وابعاد المتحرك المقابلة لها عن نقطة الاصل غير أن هذا الجدول لا يفي بالغرض لعدم امكان احتوائه على المسافات في جميع لحظات الزمن ولذا يستعمل ما يسمى بقانون الحركة

تعريف — قانون الحركة هو الارتباط بين المسافات التي يقطعها المتحرك والازمنة التي تقطع فيها والوحدتان المصطلح عليهما لبيان المسافات والازمنة هما السنتيمتر والثانية

ويبين قانون الحركة اما بخط منحن او بمعادلة جبرية فاذا فرضنا خطين م س ، م ص أحدهما عمود على الآخر وأخذنا على المحور الأفقي م س بعدا م ز مساوياً للزمن ن بمقياس معين ثم أقمنا من نقطة ز عموداً على م س وأخذنا عليه بعداً ز ه مساويا للمسافة بين النقطة المتحركة ونقطة الاصل بمقياس




ش (٢)

معين أيضاً لكانت نقطة ه دالة على وضع المتحرك في الوقت ن واذا عينت عدة نقط بهذا الشكل في ازمنة مختلفة وجمعت بخط منحن كان الخط المذكور دالاً على قانون الحركة ويمكن به ايجاد وضع المتحرك على خط سيره في أي لحظة تراد

ومتى كانت الحركة متغيرة يكون الخط المذكور خطاً منحنياً لان التغيير لا يكون الا تدريجياً

ويسمى الخط المنحني السالف الذكر « الخط البياني للحركة »

ولهذه الطريقة فائدة مهمة وهي تصحيح نتائج التجارب التي تعمل لتعيين المسافات فبعد ايجاد النقط التي يستعان بها على رسم الخط المنحني يمرر الخط المذكور بكيفية بحيث يكون قريباً ما أمكن من النقط المعينة حتى يكون خطاً منحنيا ليس به أقل تكسير

تنبيه — لتحديد الجهة التي تتحرك فيها النقطة المتحركة تعتبر المسافات موجبة على يمين نقطة الاصل وسالبه على يسارها

(٤) الحركة المستقيمة المنتظمة — ان أبسط الحركات هي الحركة المستقيمة التي يكون فيها الارتباط بين المسافات التي يقطعها المتحرك والازمنة التي يقطع فيها أبسط الارتباطات وبما أن أبسط الارتباطات هو الذي يكون مبيناً بمعادلة من الدرجة الاولى فتكون حينئذ أبسط الحركات الحركة المستقيمة التي تكون فيها المسافة م التي يكون قطعها المتحرك بعد

مضي زمن ں مبينة بالمعادلة الآتية

$$\text{م} = \text{ه} + \text{ء}\,\text{ں} \qquad (١)$$

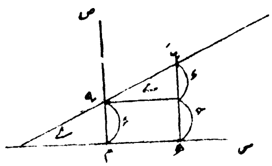
ويكون الخط البيانى لهذه الحركة خطاً مستقيماً ولرسمه نفرض أن

$$\text{ں} = ٠ \quad \text{فتكون} \quad \text{م} = \text{ه}$$

فنأخذ على المحور م س بعداً م ه يساوى ه

ثم نفرض ان $\text{ں} = ١$ فتكون $\text{م} = \text{ه} + \text{ء}$

فنأخذ حينئذ على م س بعداً م ھ يساوى ١ ونقيم من نقطة ھ عموداً عليه ونأخذ عليه بعداً ھ ن َ = ه + ء ثم نوصل ه ن َ فيكون هو الخط البيانى للحركة



ش ( ٣ )

وبالتأمل فى الشكل نرى ان ه يدل على المسافة التى تكون بين وضع المتحرك فى مبدأ المسافات ووضعه فى مبدأ الازمنة اما ء فتدل على ميل الخط البيانى على المحور الافقى فكلما كانت ا كبر كان ميل هذا الخط اعظم وهى تساوى ظل زاوية الميل ى اى ان

$$\text{ء} = \text{ظا ى}$$

ومن البديهى ان المتساوية السابقة لا تكون صحيحة الا اذا كان المقياس واحد بالنسبة للازمنة والمسافات اى اذا كانت وحدة الازمنة ووحدة المسافات مبينتين فى الرسم بوحدة طولية واحدة

فاذا فرضنا الآن مسافة اخرى مَ قطعت فى زمن ںَ كانت

$$\text{مَ} = \text{ه} + \text{ء}\,\text{ںَ} \qquad (٢)$$

وبطرح ( ١ ) من ( ٢ ) ينتج

م′ — م = ء ( ن′ — ن )     ( ٣ )

وبما ان ( م′ — م ) فى هذه المعادله عبارة عن المسافة التى يقطعها المتحرك فى الزمن ( ن′ — ن ) ينتج ان فى الحركة التي نحن بصددها تكون المسافات التى يقطعها المتحرك مناسبة للازمنة التى تقطع فيها ولذا سميت بالحركة المنتظمة ومن ذلك ينتج التعريف الآتى

الحركة المنتظمة هى التى تكون فيها المسافات التى يقطعها المتحرك مناسبة للازمنة التى تقطع فيها

وقد تعرّف الحركة المنتظمة بتعريف ابسط من هذا وهو

الحركة المنتظمة هي التى يقطع فيها المتحرك مسافات متساوية فى ازمنة متساوية مهما كان صغر هذه الازمنة وليلاحظ دائماً ذكر الجزء الاخير من هذا التعريف فان عقرب الثوانى فى بعض الساعات يقف على كل تقسيم يدل على الثانية ثم يثب بعد مضى الثانية الى التقسيم الذى يليه ومع ذلك فان حركته غير منتظمة وان كان يقطع مسافات متساوية فى ازمنة متساوية

واذا حسبنا الازمنة ابتداء من اللحظة التى يبتدئ فيها المتحرك فى الحركة تكون هـ = ٠ ويكون

م = ء ن     ( ٤ )

واذا اريد معرفة ما تدل عليه ء نفرض فى المعادلة ( ٣ ) ان ( ن′ — ن ) = ١ فينتج

م′ — م = ء

اى ان ء تدل على المسافة التى يقطعها المتحرك فى وحدة الزمن وتسمى سرعة المتحرك ويمكن ان يستخرج من ( ٣ ) أيضاً ان

$$\text{ء} = \frac{\text{م}' - \text{م}}{\text{ن}' - \text{ن}}$$

اعنى انه يمكن ايجاد سرعة متحرك بقسمة المسافة التى يقطعها فى زمن ما على الزمن المذكور

وهذه هى الطريقة العملية المستعملة لتعيين سرعة متحرك وذلك بان نقاس المسافة التى يقطعها فى زمن ما ثم يقسم العدد الناتج على الزمن المذكور

ويمكن ان يستخرج من المعادله ( ٣ ) أيضاً

$$\text{ن}' - \text{ن} = \frac{\text{م}' - \text{م}}{\text{ء}}$$

اي انه يمكن تعيين الزمن بقسمة المسافة على السرعة

وبما ان م تدل على المسافة التى تكون بين وضع المتحرك فى مبدأ المسافات ووضعه فى مبدأ الازمنة و ء تدل على سرعته فيوضع عادة القانون ( ١ ) بالصورة

$$\text{م} = \text{م}_{.} + \text{س}\,\text{ن}$$

والحركة المنتظمة كثيرة في السكون فحركة انتشار كل من الضوء والصوت منتظمة وسرعة انتشار الاول منهما تساوى ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر فى الثانية وسرعة انتشار الثاني فى الهواء وهو فى درجة الصفر تساوى ٣٣١ متراً فى الثانية ويجتهد فى الصناعة بجعل الآلات تتحرك حركة منتظمة للحصول على اعمال متقنة

(٥) الحركة المتغيرة — كل حركة غير منتظمة تسمى متغيرة فحركة القطارات والاجسام الساقطة والمقذوفة من اسفل الى اعلى متغيرة لان سرعتها تزيد أو تنقص على مرور الزمن ويقال للحركة المتغيرة متزايدة اذا اخذت المسافات التى يقطعها المتحرك فى ازمنة متساوية فى الزيادة ويقال لها متناقصة اذا اخذت فى النقصان فحركة كل جسم ساقط متزايدة وحركة كل جسم مقذوف من اسفل الى اعلى متناقصة

(٦) السرعة المتوسطة — السرعة المتوسطة لمتحرك حركته متغيرة فى زمن معين هى

خارج قسمة المسافة التى يقطعها المتحرك المذكور على الزمن الذى يقطعها فيه ويمكن ان يقال انها سرعة المتحرك المنتظم الحركة الذى يقطع المسافة المذكوره فى نفس الزمن

وللسرعة المتوسطة اهمية عملية عظمى وليست لهـا اقل اهمية علمية هذا بخلاف ما يسمى بالسرعة فى وقت معين فان اهميتها العلمية عظيمة جداً

(٧) السرعة في وقت معين — قبل ذكر تعريف السرعة في وقت معين نذكر مثالاً لزيادة الايضاح وذلك بأن نفرض قطاراً سائراً وساعة تعين الازمنة مهمـا صغرت ونفرض اننا عينا الزمن الذى يقطع فيه القطار المذكور الف متر وليكن٤٧ ثانية فتكون السرعة المتوسطة للقطار المذكور فى السبع والاربعين ثانيـة أى المسافة المتوسطة التى تقطعها في الثانية الواحدة هى $\frac{١٠٠٠}{٤٧}$ فاذا أخذنا عوضاً عن ١٠٠٠متر ١٠٠ متر وكان الزمن الذى يقطع فيه القطار هذه المسافة ٢ر٤ ثوان كانت السرعة المتوسطة فى الزمن المذكور أى المسافة المتوسطة التى تقطع فى الثانية $\frac{١٠٠}{٤ر٢}$ فمن البديهى ان هذا المقدار يكون أقرب الى النهايتين الصغرى والكبرى لسرعة القطار اثناء الاربعة الثوانى والخمس الثانية لان الحركة لا تتغير فى الزمن المذكور بقدر ما تتغير فى ٤٧ ثانية وكذا اذا اعتبرنا متراً عوضاً عن مائة وكان الزمن الذى يقطع فيه القطار هذه المسافة ٠٤١ر٠ من الثانية لكانت النتيجة أقرب وهكذا ولذا انهم يعرفون السرعة فى وقت معين انها النسبة بين المسافة التى يقطعها المتحرك بعد هذا الوقت والزمن الذى يقطع فيـه المسافة المذكورة بفرض ان الزمن المذكور ينقص حتى يصل للصفر والسرعة في وقت معين تدل على المسافة التى يقطعها المتحرك في ثانية اذا حفظ سرعته ابتداء من هذا الوقت وتحرك حركة منتظمة

فاذا اعتبرنا حركة متغيرة وكانت المسافة م التى يكون قطعهـا المتحرك بعد مضى زمن ى مبينة بالمعادلة الآتية

$$م = ﺣ + ٮ ى + ﻫ ى^{٢} \qquad (١)$$

وأريد تعيين السرعة في الوقت ن

نبحث عن المسافة ں التى يقطعها المتحرك فى زمن صغير ط يلى الوقت ن مباشرة فيكون

$$\text{م} + \text{ں} = \text{ح} + \text{ء}\,(\text{ن} + \text{ط}) + \text{ه}\,(\text{ن} + \text{ط})^{٢} \qquad (٢)$$

وبطرح المعادلة (١) من المعادلة (٢) ينتج

$$\text{ں} = \text{ء}\,\text{ط} + \text{ه}\,(٢\,\text{ط}\,\text{ن} + \text{ط}^{٢})$$

وتكون السرعة المتوسطة أثناء الزمن ط عبارة عن

$$\frac{\text{ں}}{\text{ط}} = \text{ء} + \text{ه}\,(٢\,\text{ن} + \text{ط})$$

وتكون السرعة س فى اللحظة ن عبارة عن $\frac{\text{ں}}{\text{ط}}$ اذا نقص ط الى الصفر وحينئذ يكون

$$\text{س} = \text{ء} + ٢\,\text{ه}\,\text{ن}$$

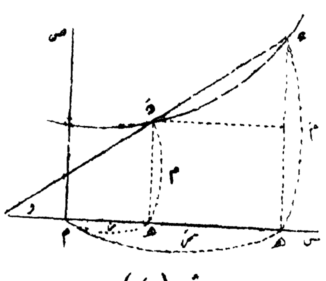
ومن هنا يتضح انه اذا علم قانون المسافات أمكن استخراج قانون السرع منه

واذا طبقت الطريقة السابقة على الحركة المنتظمة وجد أن

$$\frac{\text{ں}}{\text{ط}} = \text{س}$$

وهذا يدل على انه لا يوجد لاى حركة الا قانون واحد

بقى علينا الآن أن نثبت ان النهاية التى تصل اليها النسبة المار ذكرها اذا نقص الزمن ط الى الصفر لها وجود مهما كانت الحركة



ش (٤)

وكيفية ذلك هى أن نفرض حركة حيثما اتفق فاذا رسمنا المنحنى البيانى لها ثم قطعناه بمستقيم ى ىَ يقابل المحور الافقى فى نقطة ا كان

$$\text{ظا و} = \frac{\text{مَ} - \text{م}}{\text{نَ} - \text{ن}}$$

أى ان ظا و يدل على السرعة المتوسطة فى الزمن نَ — ن

ولايجاد السرعة فى الوقت ن نفرض ان نَ يقرب من ن حتى يساويه فيصير عند ذلك القاطع ىىَ مماسا للمنحنى البيانى للحركة فى النقطة ىَ ويكون ظل الزاوية المكونة منه ومن المحور المذكور دالاً على سرعة المتحرك فى الوقت ن ومن ذلك تستنتج القاعدة الآتية

لايجاد السرعة فى وقت معين عند ما تكون الحركة مبينة بالمنحنى البيانى لها يرسم مماس لهذا المنحنى فى النقطة التي تقابل الوقت المذكور فظل الزاوية المكونة منه ومن المحور الافقي يكون دالا على السرعة المطلوبة

(٨) الحركة المستقيمة المنتظمة التغير — لنبحث فى طبيعة الحركة المبينة بالمعادلة

$$م = ح + ء ن + ه ن^{٢} \qquad (١)$$

قد ذكرنا فيما مضى ان السرعة س فى الوقت ن مبينة بالمتساوية

$$س = ء + ٢ ه ن \qquad (٢)$$

وتكون السرعة سَ بعد الزمن نَ

$$سَ = ء + ٢ ه نَ \qquad (٣)$$

فاذا طرحت المعادلة (٢) من المعادلة (٣) ينتج

$$سَ - س = ٢ ه (نَ - ن) \qquad (٤)$$

أعنى ان تغير السرعة في هذه الحركة يكون مناسباً للازمنة التى تتغير فيها

واذا فرضنا فيالمعادلة (٤) ان $نَ - ن = ١$ ينتج أن

$$سَ - س = ٢ ه$$

أعنى ان سرعة المتحرك تتغير فى الثانيـة الواحدة بقدر ٢ ه ولذا سميت الحركة التى نحن بصددها بالحركة المنتظمة التغير

ومن ذلك يستنتج التعريف الآتى

الحركة المنتظمة التغير هى التى تتغير فيها السرعة بمقادير مناسبة للازمنة التى تتغير فيها وقد تعرَّف أيضاً بتعريف أوضح من هذا وهو

الحركة المنتظمة التغير هى الحركة التى تزيد فيها سرعة المتحرك بمقادير متساوية في أزمنة متساوية مهما صغرت هذه الازمنة

ويسمى المقدار ٢ هـ الذى تزيد به السرعة كل ثانية عجلة الحركة وهو يساوى ضعف معامل $\text{ن}^{٢}$ فاذا رمزنا له بالحرف ع آلت المعادلتان ( ١ ) ، ( ٢ ) الى

$$\text{م} = \text{هـ} + \text{ء}\,\text{ن} + \frac{\text{ع}}{٢}\,\text{ن}^{٢} \qquad (٥)$$

$$\text{س} = \text{ء} + \text{ع}\,\text{ن} \qquad (٦)$$

ويمكن أن يكون ع في المعادلتين السابقتين موجباً أو سالباً وتسمى الحركة في الحالة الاولى منتظمة العجلة وفي الحالة الثانية منتظمة التقصير

ولمعرفة مايدل عليه العدد الثابت ء نفرض في (٦) ان $\text{ن} = ٠$ فينتج

$$\text{س} = \text{ء}$$

أعنى ان ء عبارة عن سرعة المتحرك فى مبدأ الزمن فاذا رمزنا لها بالرمز ب تؤول المعادلتان ( ٥ ) ، ( ٦ ) الى

$$\text{م} = \text{هـ} + \text{ب}\,\text{ن} + \frac{\text{ع}}{٢}\,\text{ن}^{٢} \qquad (٧)$$

$$\text{س} = \text{ب} + \text{ع}\,\text{ن} \qquad (٨)$$

ولمعرفة ما تدل عليه هـ نفرض فى ( ٧ ) أن $\text{ن} = ٠$ فينتج أن

$$\text{م} = \text{هـ}$$

أى ان هـ تدل على المسافة التى تكون بين وضع المتحرك في مبدأ المسافات ووضعه فى مبدأ الازمنة

فاذا فرض ان الازمنة والمسافات تحسب من وقت واحد آلت المعادلتان (٧) ، (٨) الى

$$\text{م} = \text{س}_\text{ب}\,\text{ن} + \frac{\text{ع}}{٢}\,\text{ن}^{٢} \qquad (٩)$$

$$\text{س} = \text{س}_\text{ب} + \text{ع}\,\text{ن} \qquad (١٠)$$

ويمكن أن يستخرج من القانونين السابقين ثالث يصلح لايجاد سرعة المتحرك اذ علمت المسافة التى قطعها وسرعته فى مبدأ الازمنة لانا اذا ربعنا طرفى (١٠) ينتج

$$\text{س}^{٢} = \text{س}_\text{ب}^{٢} + ٢\,\text{س}_\text{ب}\,\text{ع}\,\text{ن} + \text{ع}^{٢}\,\text{ن}^{٢} \quad \text{أو}$$

$$\text{س}^{٢} = \text{س}_\text{ب}^{٢} + ٢\,\text{ع}\left(\text{س}_\text{ب}\,\text{ن} + \frac{\text{ع}}{٢}\,\text{ن}^{٢}\right) \quad \text{أو}$$

$$\text{س}^{٢} = \text{س}_\text{ب}^{٢} + ٢\,\text{ع}\,\text{م} \qquad (١١)$$

واذا فرضت السرعة معدومة فى مبدأ الزمن أى ان المتحرك مبتدئ من سكون آلت المتساويات (٩) ، (١٠) ، (١١) الى

$$\text{م} = \frac{\text{ع}}{٢}\,\text{ن}^{٢} \qquad (١٢)$$

$$\text{س} = \text{ع}\,\text{ن} \qquad (١٣)$$

$$\text{س}^{٢} = ٢\,\text{ع}\,\text{م} \qquad (١٤)$$

واذا فرض فى (١٢) ان $\text{ن} = ١$ ينتج

$$\text{م} = \frac{\text{ع}}{٢}$$

أعنى انه اذا ابتدأ متحرك حركته منتظمة العجلة من سكون كانت المسافة التى يقطعها فى الثانية الاولى نصف عجلته

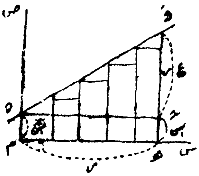
ويمكن الوصول الى القانونين (٩) ، (١٠) بايجاد قانون السرعة أولاً ثم استخراج قانون المسافات منه

فاذا فرضنا متحركاً حركته منتظمة العجلة وكانت عجلته ع وسرعته فى مبدأ

الزمن ب ثم صارت س بعد مضى زمن ن فبناء على تعريف الحركة المنتظمة العجلة يكون

$$\text{س} = \text{ب} + \text{ع}\,\text{ن} \qquad (١٠)$$

ولايجاد قانون المسافات نرسم الخط البيانى لقانون السرعة السابق الذى يكون خطاً مستقيماً حيث ان تغير السرعة مناسب لتغير الزمن وكيفية ذلك هي ان نرسم الخطين المتعامدين م س ، م ص ثم نفرض فى (١٠) ان ن = ٠ فيكون س = ب فنأخذ حينئذ على المحور م ص بعداً م ء = ب بمقياس معين ثم نأخذ على م س بعداً م هـ = ن ونقيم من هـ عموداً عليه هـ ءَ = ب + ع ن فيكون الخط ء ءَ هو الخط البيانى المطلوب



ش (٥)

فاذا قسمنا الزمن م هـ الى اجزاء متساوية صغيرة جداً ثم أقمنا من نقط التقاسيم أعمدة على م هـ كان كل منها مساوياً لسرعة المتحرك فى ابتداء كل من الاجزاء التى قسم اليها الزمن الكلى فاذا فرضنا أن السرعة تبقى ثابتة فى كل حزء من اجزاء الزمن ثم تتغير على التوالى دفعة واحدة الى مقدارها الحقيقى فى مبدأ الجزء الذى يليه كانت مساحة المستطيل المرسوم على كل جزء دالة على المسافة التى يقطعها المتحرك اثناء تحركه فى الزمن الدال عليه طول هذ الجزء فاذا فرضنا أن طول اجزاء الزمن يصغر شيئاً فشيئاً فان الحد النهائى لمجموع مساحات المستطيلات يكون عبارة عن مساحة شبه المنحرف هـ م ء ءَ وتكون مساحة الشكل المذكور دالة على المسافة التى يقطعها المتحرك اثناء الزمن ن

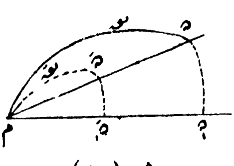
وبما ان مساحة شبه المنحرف تساوى مساحة المستطيل م هـ حـ ء مضافاً اليها مساحة المثلث ءَ حـ ء ينتج

$$\text{م} = \text{ب}\,\text{ن} + \frac{\text{ع}}{٢}\,\text{ن}^{٢}$$

ومن الممكن تطبيق هذه الطريقة لايجاد المسافة التي يقطعها متحرك حركة حيثما اتفق فى زمن ما وذلك برسم المنحنى البيانى لسرعته فى الازمنة المختلفة وايجاد مساحة السطح المحصور بين المنحني المذكور والمحور الافقي والخطين الرأسين الدالين على سرعة المتحرك فى مبدأ الزمن ونهايته

تنبيه — أتت فكرة السرعة فى لحظة معينة من الحركة المنتظمة وفكرة العجلة من الحركة المنتظمة التغير فان كان قانون الحركة المستقيمة اكثر تعقيداً من قانون الحركة المنتظمة التغير بان كانت السرعة فيها تتغير بمقادير غير مناسبه للازمنة التي تتغير فيها فتسمى النسبة بين تغير السرعة وتغير الزمن وهى $\frac{\text{سَ} - \text{س}}{\text{نَ} - \text{ن}}$ بالعجلة المتوسطة اثناء الزمن نَ — ن وتسمى النسبة المذكورة عند ما يصغر نَ حتى يصير مساوياً الى ن بالعجلة فى اللحظة ن

(٩) الحركة الدائرية المنتظمة --- اذا رَسمت النقطة المتحركة محيط دائرة حول محور عمودى على مستوٍ بها سميت الحركة دائرية وتكون منتظمة اذا قطع المتحرك على محيط الدائرة التي يرسمها مسافات متساوية فى أزمنة متساوية مهما صغرت هذه الازمنة


ش (٦)

فاذا فرضنا فى حركة دائرية منتظمة أن م مسقط محور الدوران وفرضنا نقطتين ح و حَ على بعدين ع و عَ من المحور المذكور فبعد مضى زمن ن تصل النقطتان ح و حَ الى الموضعين ح١ و حَ١ ويكون

$$\frac{\text{ع}}{\text{عَ}} = \frac{\text{ح ح}_1}{\text{حَ حَ}_1}$$

فاذا رمزنا لسرعتى النقطتين المذكورتين على كل من القوسين ح ح١ و حَ حَ١ بالحرفين س و سَ نتج

س ز / سَ ز = ى / ىَ = س / سَ  أو

س / ى = سَ / ىَ = .... عدداً ثابتاً

أعنى ان سرع النقط التى على ابعاد مختلفة عن المحور مناسبة لابعادها عنه

وقد سميت هذه النسبة « سرعة الدوران الزاوية »

ومن ذلك ينتج التعريف الآتى

سرعة الدوران الزاوية فى كل حركة دائرية منتظمة هي خارج قسمة سرعة أى نقطة من نقط الجسم الدائر على بعدها عن المحور وتعرّف أيضاً بسرعة النقطة التى تبعد عن محور الدوران بمسافة تساوى وحدة الطول فاذا رمزنا لها بالرمز و كان

س / ى = و  أو

س = ى و  (١)

أى ان سرعة نقطة حيثما كانت تساوى حاصل ضرب السرعة الزاوية فى بعد النقطة المذكورة عن محور الدوران ومن السهل ايجاد مقدار السرعة الزاوية بتعيين الزمن ز الذى تدور فيه نقطة ما على بعد ى من المحور عدداً معيناً ( ن ) من الدورات لان

ن × ٢ ط ى = س ز

وبتعويض س بما يساويها فى ( ١ ) ينتج

ن × ٢ ط ى = ى و ز  ومن ذلك ينتج

و = ٢ ط ن / ز

واذا كانت الحركة الدائرية غير منتظمة تستعمل السرعة أو العجلة فى وقت معين كما سبق بيانه فى الحركة المستقيمة

(١٠) الوحدات الاساسية ووحدتا السرع والعجلات — جميع الوحدات المستعملة في العلوم الطبيعية مشتقة من ثلاث وحدات اساسية جعلت أصلاً لمجموعة قررها أولاً المجمع العلمي البريطاني ثم صودق عليها نهائياً في المؤتمر الكهربائي الدولي الذي انعقد في باريس سنتي ١٨٨١ و ١٨٩٣

والوحدات الاساسية المذكورة هي وحدة للاطوال ووحدة للكتل ووحدة للازمنة

وحدة الاطوال — هي السنتيمتر وهو عبارة عن $\frac{1}{100}$ من طول المتر المصنوع من البلاتين المحفوظ نموذج منه في مصلحة المساحة بالجيزة وذلك وهو في درجة الصفر والمتر يساوي تقريباً $\frac{1}{40000000}$ من طول خط نصف النهار الارضي

وحدة الكتل — هي كتلة الجرام وهي تساوي $\frac{1}{1000}$ مما جمع من المادة في كتلة الكيلوجرام المصنوع من البلاتين المحفوظ نموذج منه في مصلحة المساحة بالجيزة وكتلة الجرام تعادل تقريباً كتلة سنتيمتر مكعب من الماء المقطر الذي تساوي درجة حرارته $+ 4^{\circ}$

وحدة الازمنة — هي الثانية وهي تعادل $\frac{1}{86400}$ من اليوم الشمسي الوسطى

ومجموعة الوحدات المشتقة من الوحدات الاساسية سالفة الذكر تسمى مجموعة س . هـ . ث أي المجموعة التي أساسها السنتيمتر وكتلة الجرام والثانية

وحدة السرع — وحدة السرع في المجموعة س . هـ . ث هي سرعة متحرك حركته منتظمة يقطع سنتيمتراً كل ثانية وتبين الوحدة المذكورة كتابة بالصورة سث ولم يوضع لها اسم للآن وقد تسمى أحياناً سنتيمتر ثانية

وبناء على ذلك تكون سرعة الضوء الذى يقطع ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر فى الثانية تساوى ٣ × ١٠^١٠ ست وسرعة الصوت الذى يقطع فى الهواء وهو فى درجة الصفر ٣٣١ متراً فى الثانية ٣٣١ × ١٠^٢ ست

وحدة العجلات — وحدة العجلات فى المجموعة س . ح . ث هى عجلة متحرك حركته منتظمة العجلة تزيد سرعته فى الثانية سنتيمتراً كل ثانية وتبين الوحدة المذكورة كتابة بالصورة سثث وقد تسمى احياناً سنتيمتر ثانية ثانية وبناء على ذلك تكون عجلة الجسم الساقط فى الفراغ فى مدينة القاهرة تساوى ٩٧٩ر١٢ سثث

## ( ٢ ) تحصيل الحركات وتحليلها

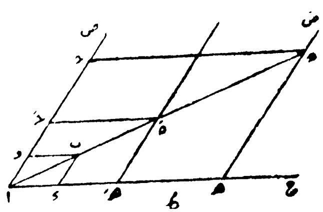
(١٢) تحصيل الحركات — من البديهى ان كل نقطة مادية لا تتحرك الا حركة واحدة بمعنى انها تتبع خط سير معين منقادة لقانون معين غير ان هذا لايمنع احياناً من القول بأن حركة نقطة مكونة من حركتين أو اكثر

فاذا فرضنا نقطة ا تتحرك فى وسط مجموعة ب كشخص فى سفينة فان ما يمكن مشاهدته فى المجموعة المذكورة لا يخرج عن حركة النقطة ا بالنسبة للنقط الاخرى من المجموعة فاذا فرضنا الآن أن المجموعة ب متمتعة بحركة خاصة فى مجموعة أخرى ء بأن كانت السفينة سائرة فى البحر يقال ان النقطة ا متمتعة بحركتين حركتها النسبية فى المجموعة ب وحركة المجموعة المذكورة فى المجموعة ء فخط سير القمر بالنسبة للارض قطع ناقص غير ان خط سيره فى المجموعة الشمسية ليس كذلك وذلك لاشتراكه مع

الارض فى دورانها حول الشمس وتعتبر حركة القمر الحقيقية فى المجموعة الشمسية مكونة من حركتين حركته النسبية حول الارض وحركة المجموع المكون منه ومن الارض حول الشمس

فاذا علمت الحركة النسبية لنقطة ا فى مجموعة ب وعلمت حركة المجموعة المذكورة فى مجموعة ء وهكذا وكان المراد ايجاد حركة النقطة ا فى المجموعة الاخيرة سمى ذلك تحصيل الحركات وسميت الحركة الناتجة محصلة الحركات الآنية أما الحركات الآنية المذكورة فتسمى بمركبات المحصلة

(١٣) تحصيل الحركات الآنية المستقيمة المنتظمة — اذا فرضنا نقطة ا متحركة حركة مستقيمة منتظمة فى مجموعة ولتكن سفينة وكان ا س اتجاه حركة النقطة ٥ س سرعتها وفرضنا أيضاً ان السفينة تتحرك حركة مستقيمة منتظمة فى الاتجاه ا ع بسرعة سَ فبعد مضى زمن قدره ں تصل نقطة ا الى هـ



ش (٧)

ويكون ا هـ = س ں (١)

وبعد مضى الزمن المذكور تكون قد تحركت السفينة مسافة اهَ تقدر بالمتساوية

اهَ = سَ ں (٢)

وحينئذ يشغل الاتجاه ا س بعد مضى الزمن ں الوضع هَ سَ وتأخذ النقطة ا بعد مضى الزمن المذكور الوضع ٥ الذى هو رأس متوازى الاضلاع المنشأ على المسافتين المقطوعتين اثناء الزمن ں

ولايجاد خط سير النقطة المتحركة من ا الى ٥ نبحث عن موضعها بعد زمن آخر ںَ ولذلك نقول ان المتحرك يكون بعد مضى الزمن ںَ شاغلاً للوضع ٥َ المبين بالمتساويتين

ا حَ = س نَ   (٣)

ا هَ = سَ نَ   (٤)

وبقسمة طرفى متساوية ( ١ ) على طرفى متساوية ( ٢ ) وطرفى متساوية (٣) على طرفى متساوية (٤) ينتج

$$\frac{\text{اح}}{\text{اه}} = \frac{\text{احَ}}{\text{اهَ}}$$

وبما أن ا ح = م ه و ا حَ = مَ هَ ينتج

$$\frac{\text{مه}}{\text{اه}} = \frac{\text{مَهَ}}{\text{اهَ}}$$

وحينئذ يكون المثلثان ا ه م و ا هَ مَ متشابهين وينتج من تشابههما ان زاوية م ا ه = مَ ا هَ أى ان النقط الثلاث ا و م و مَ م على استقامة واحدة ويستدل من ذلك على ان الطريق الذى تتبعه نقطة ا للوصول الى م هو الاتجاه ا م أى قطر متوازى الاضلاع المنشأ على المسافتين المقطوعتين اثناء الزمن ن

فينتج من ذلك انه عند ما تكون نقطة متمتعة بحركتين آنيتين مستقيمتين ومنتظمتين فالحركة الناتجة تكون مستقيمة والمسافة التى تقطعها النقطة المتحركة فى زمن ما تعين مقداراً واتجاهاً بقطر متوازى الاضلاع المنشأ على المسافتين المقطوعتين فى الزمن المذكور

وخلافاً لما ذكر ينتج من تشابه المثلثين ا م ه و ا مَ هَ أن

$$\frac{\text{ام}}{\text{امَ}} = \frac{\text{اه}}{\text{اهَ}} = \frac{\text{سَ ن}}{\text{سَ نَ}} = \frac{\text{ن}}{\text{نَ}}$$

أى ان المسافات المقطوعة فى الحركة المحصلة مناسبة للازمنة التى تقطع فيها وهذا دليل على انها منتظمة ولايجاد سرعتها نقول انه بعد مضى ثانية تكون النقطة المتحركة فى الوضع ب الذى هو رأس متوازى الاضلاع المنشأ على المسافتين ا ء و ا د المقطوعتين

فى وحدة الزمن أى على سرعتى الحركتين ومن ذلك ينتج أن سرعة الحركة المحصلة تساوى قطر متوازى الاضلاع المنشأ على السرعتين المركبتين ويستنتج مما سبق القاعدة العمومية الآتية

محصلة كل حركتين آنيتين مستقيمتين منتظمتين حركة مستقيمة منتظمة تعين سرعتها مقداراً واتجاهاً بقطر متوازى الاضلاع المنشأ على سرعتي الحركتين

(١٤) تحصيل الحركات الآنية المتغيرة — يمكن تطبيق قاعدة متوازى اضلاع الحركات على أى نقطة مادية مهما كان قانونا الحركتين الآنيتين المنفادة لهما على شرط أن تكونا مستقيمتين فتوجد تلك النقطة بعد زمن حيثما اتفق فى رأس متوازى الاضلاع المنشأ على المسافتين المقطوعتين فى الزمن المذكور الا أن خط سيرها لا يكون قطر متوازى الاضلاع المذكور الا اذا كان قانونا مسافات الحركتين الآنيتين مرفوعاً فيهما الزمن لقوة واحدة وفى غير ذلك يكون خطاً منحنياً يختلف باختلاف قانوني الحركتين

فاذا فرضنا نقطة متحركة حركتين آنيتين قانوناهما

$$م = ط\,ن^{٢} \quad ٥$$

$$مَ = طَ\,ن^{٢}$$

فيمكن أن يستنتج باتباع طريقة تحصيل الحركات المستقيمة المنتظمة أن

$$\frac{ا\,ح}{ا\,ه} = \frac{ط}{طَ} \qquad \text{وكذلك}$$

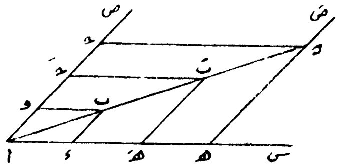
$$\frac{ا\,حَ}{ا\,هَ} = \frac{ط}{طَ}$$

أى ان المثلثين ا ه ن ٥ ا هَ نَ متشابهان وان النقط الثلاث ا ٥ نَ ٥َ ن على استقامة واحدة أعني ان الحركة المتحصلة مستقيمة وعلى ذلك تكون محصلة الحركتين المستقيمتين المنتظمتي التغير مستقيمة

وينتج من تشابه المثلثين ا هـ م ا هـَ مَ شكل ٧ أن

$$\frac{\text{م ر}}{\text{مَ رَ}} = \frac{\text{م ر ط}}{\text{مَ رَ ط}} = \frac{\text{هـ ا}}{\text{هـَ ا}} = \frac{\text{م هـ}}{\text{مَ هـَ}} = \frac{\text{م ا}}{\text{مَ ا}}$$

أعنى ان طبيعة الحركة المحصلة كطبيعة الحركتين المركبتين لها وعلى ذلك تكون محصلة الحركتين المستقيمتين المنتظمتي التغير حركة مستقيمة ومنتظمة التغير

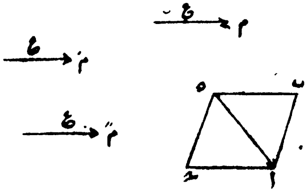


ش (٨)

ولايجاد محصلة عجلتي حركتين منتظمتي العجلة نقول ان العجلة المذكورة تساوى ضعف المسافة التي تقطعها نقطة ا فى الاتجاه ا م فى الثانية الاولى من التحرك فاذا فرضنا (شكل ٨) أن ا و المسافة المقطوعة فى الثانية الاولى من التحرك فى الاتجاه ا ص و ا ء المسافة المقطوعة فى الثانية الاولى من التحرك فى الاتجاه ا س وأتممنا متوازى الاضلاع ا ء ب و كانت ا ب المسافة المقطوعة فى الثانية الاولى من التحرك فى الاتجاه ا م فاذا أخذنا ا هـ = ٢ ا ء وكذلك ا صَ = ٢ ا و كان ا بَ يساوى ٢ ا ب أى العجلة المحصلة أعنى ان مقدار العجلة المحصلة يساوى قطر متوازى الاضلاع المنشأ على العجلتين واتجاهها اتجاهه

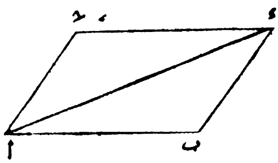
تنبيه - اذا كانت حركتا النقطة حيثما اتفق أمكن الحصول على محصلة سرعتيهما فى أى لحظة بانشاء متوازى اضلاع على السرعتين المذكورتين فى اللحظة المذكورة فيكون قطره المحصلة المطلوبة أما اذا كان المراد تحصيل اكثر من حركتين فتحصل الاولى والثانية منهما ثم المحصلة الناتجة والحركة الثالثة وهكذا

(١٥) تحليل الحركات – من الممكن أيضاً ايجاد الحركة النسبية لنقطة فى مجموعة اذا علم كل من الحركة الحقيقية للنقطة وحركة المجموعة فاذا فرضنا نقطة م متحركة حركة مستقيمة ومنتظمة سرعتها تساوى م ا وفى اتجاهه وكانت النقطة المذكورة فى مجموعة



ش (٩)

م و مَ و مً متحركة حركة مستقيمة ومنتظمة أيضاً سرعتها ع وكان المراد ايجاد السرعة النسبية للنقطة ﻫ فى المجموعة نرسم ﻫ ب مساوياً وموازياً الى ع ثم نصل ب ا ونكمل متوازى الاضلاع ب ا ﺣ ﻫ فيكون ﻫ ﺣ ا ه ب ا يساوى سرعة الحركة النسبية المطلوبة وفى اتجاهها



ش (١٠)

(١٦) تغيير السرعة — اذا فرضنا نقطة ا متحركة حركة متغيرة وكانت سرعتها فى وقت ما تساوى ا ب وفى اتجاهه ثم صارت بعد مضى زمن ٮ تساوى ا ء وفى اتجاهه فاذا وصلنا ء ب وأتممنا متوازى الاضلاع ء ب ا ﺣ ظهر لنا ان السرعتين المبينتين مقداراً واتجاهاً بالخطين ا ب ٯ ا ﺣ تعادلان السرعة المبينة مقداراً واتجاهاً بالخط ا ء أعنى ان السرعة ا ﺣ هى اللازم تركيبها مع ا ب لتكوين السرعة ا ء وحينئذ يكون ا ﺣ معيناً لتغير سرعة النقطة ا فى الزمن ٮ مقداراً واتجاهاً

وبناء على ذلك يرى أن تغير السرعة لا يكون على الدوام مساوياً للفرق بين السرعتين بل يكون مساويا للسرعة التى اذا ركبت مع السرعة الابتدائية كانت محصلتهما السرعة النهائية

## القوى

### (١) قياس القوى

(١٧) قاعدة القصور الذاتى — كل جسم ساكن يبقى ساكناً ما لم يطرأ عليه طارىء

بحركه وكل جسم متحرك يتحرك حركة منتظمة ومستقيمة ما لم يطرأ عليه مايغير انتظام حركته أو اتجاهها أو يمحوها

وقد يعرّف القصور الذاتى أيضاً بمقاومة الاجسام للتحريك أو بالاحرى لتغيير حركتها حيث ان لا وجود للسكون المطلق فى الكون

فاذا كان جسم متحركاً وتغيرت حركته فى الاتجاه أو السرعة دل ذلك على سبب أحدث هذا التغيير فاذا دحرجت مثلاً كرة على سطح أفقى شوهد انها تتحرك حركة مستقيمة غير ان سرعتها تأخذ فى التناقص تدريجاً حتى تنعدم بدون سبب ظاهرى يمنع استمرارها والحقيقة ان هناك سببين أولهما مقاومة الهواء وثانيهما احتكاكها بالسطح فلو اختيرت الكرة ملساء جداً ودحرجت على سطح مصقول لحفظت حركتها زمنا أطول بكثير وذلك لقلة الاحتكاك

وهناك اسباب كثيرة توضح خاصة القصور الذاتى منها انه اذا أوقف قطار سريع الحركة دفعة واحدة رأيت أجسام الركاب اندفعت بقوة فى الاتجاه الذى كان يتحرك فيه القطار وكذلك اذا أراد انسان النزول من عربة ترام اثناء سيرها يلزمه أن يميل بجسمه فى جهة مضادة للجهة التى تتحرك فيها العربة والا قذف فى هذه الجهة

(١٨) تعريف القوة — هى كل ما يسبب حدوث الحركة أو تغير طبيعتها مثال ذلك قوة الثقل وهى القوة التى تسبب سقوط الاجسام المتروكة ونفسها نحو الارض والقوة العضلية للحيوان وقوة مرونة الغاز

واذا أثرت عدة قوى دفعة واحدة فى جسم ساكن وبقي ساكناً يقال انها تحدث مع بعضها توازناً أو انها متزنة ومن الممكن أن تحدث القوى المتزنة المؤثرة فى جسم تغييراً مؤقتاً في شكله يرتد بعده الجسم الى شكله الاصلي بعد زوال تأثير القوى وذلك عندما يكون الجسم مرناً وقد تأسست على هذه الخاصة مقاييس القوى

(١٩) قاعدة تساوى الفعل ورد الفعل — لا تحدث القوى المؤثرة فى الاجسام حركة فيها اذا كان هناك ما يمنع تلك الاجسام عن التحرك فاذا وضع جسم على حامل مثلاً فذلك لا يمنع تأثير جذب الارض فيه وتكون نتيجة هذا التأثير اذ ذاك ضغطه على حامله بقوة تساوى وزنه بحيث انه اذا لم تكن في الحامل المتانة الكافية لمقاومة هذا الضغط لكسر بتأثيره ويتولد دائماً على الجسم المحمول في أمثال هذه الحالة ضغط من أسفل الى أعلا يساوى وزن الجسم ويسمى رد فعل الحامل فاذا فرض الجسم المذكور موضوعاً على يد انسان فلمنعه من السقوط يجب دفعه من أسفل الى أعلا بقوة تساوى وزنه فهذا الدفع يتولد دائماً على الجسم متى وضع على أى حامل كذا اذا علق جسم في خيط توتر الخيط وكانت شدة توتره مساوية لوزن الجسم وفي هذه الحالة ينتج جذب من الخيط للجسم يساوى شدة توتر الخيط أى وزن الجسم بمعنى ان رد الفعل يكون في هذه الحالة أيضاً مساوياً لوزن الجسم أى للفعل

وهذه القاعدة عامة أى انه ان لم تحدث القوة المؤثرة في جسم حركة فيه تولدت عنها قوة مساوية وفي اتجاه مضاد لها تسمى رد فعلها وتسمى هذه القاعدة قاعدة تساوى الفعل ورد الفعل الناشيء عنه وسنرى أمثلة كثيرة لها فيما سيأتى وفي جميع الاحوال التى يتولد فيها رد الفعل يتزن هذا الاخير مع الفعل المولد له

(٢٠) تقدير القوى — تعين كل قوة بثلاثة أشياء وهى

أولاً — نقطة تأثيرها أى نقطة الجسم التى تؤثر فيها مباشرة

ثانياً — اتجاهها أى الخط الذى تتحرك نقطة التأثير تبعاً له

ثالثاً — شدتها أى مقدار ما تحتوى عليه من وحدة القوى

ويقال لقوتين انهما متساويتان اذا أثرتا في نقطة مادية دفعة واحدة وفي اتجاهين

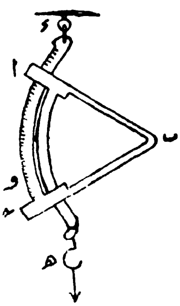
متضادين وأحدثنا مع بعضهما توازناً ويقال لقوة انها ضعفا أو ثلاثة أضعاف أو ٠٠٠٠ قوة أخرى اذا أحدثت توازناً مع قوتين أو ثلاث أو ٠٠٠٠ تساوى كل منهما القوة الثانية ومؤثرة في اتجاه واحد مضاد لاتجاه القوة الاولى وبناء على ما ذكر يرى انه من الممكن مقارنة شدة القوى بشدة احداها التى تنتخب وحدة لتقديرها

وتبين القوى بدلالات هندسية وهى خطوط مستقيمة مبتدئة من نقطة تأثيرها ومتجهة في اتجاهها وطولها يدل بمقياس معين على شدتها أى على ما تساويه من وحدة القوى

والوحدة العملية التي كانت مستعملة قديماً لقياس القوى والتي لا تزال تستعمل فى كثير من الاحوال الى وقتنا هذا هى وزن الكيلوجرام المحفوظ نموذج منه فى ادارة عموم المساحة بالجيزة وهو يساوي تقريباً قوة جذب الارض لديسيمتر مكعب من الماء المقطر الذي درجة حرارته + ٤ وسنرى فيما سيأتى ان هذه الوحدة ليست الوحدة العلمية المصطلح عليها الآن لان مقدارها يتغير فى نقط سطح الارض المختلفة فاذا استعملنا جهاز قياس القوى لتعيين وزن الكيلوجرام فى نقط سطح الارض المختلفة ظهر لنا أن وزنه يختلف باختلاف العروض واختلاف ارتفاع النقطة التى يوزن فيها عن سطح البحر وعلى العموم فان هذا الاختلاف ضعيف اذ ظهر ان الجسم الذى يزن ١٠٠٠ جرام فى محاذاة سطح البحر عند خط الاستواء يزن ١٠٠٥ جراماً بجوار أحد القطبين

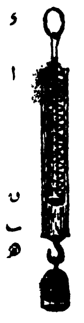
(٢١) الدينامومترات — الاجهزة المستعملة لقياس القوى تسمى دينامومترات ( مقاييس القوى ) وهى عبارة عن زنبلكات تنثنى كثيراً أو قليلاً حسب القوى التى تؤثر فيها وتعود الى شكلها الاصلى متى زال عنها هذا التأثير

وأحد الدينامومترات المستعملة مكون من صفيحة مرنة من الصلب منحنية على شكل




ش (١١)

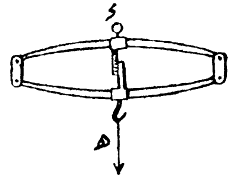
زاوية ومثبت فى كل من طرفيها ا ه ح قوس معدنى يمر بسهولة من فتحة مصنوعة بالقرب من الطرف المقابل وينتهى أحد هذين القوسين بحلقة ء لتعليق الجهاز والقوس الثانى بخطاف هـ ولتدريج هذه الآلة يعلق على التوالى فى الخطاف هـ أوزان مختلفة كيلوجرام ثم كيلوجرامان ثم ثلاثة وهكذا فتنثنى حينئذ الصفيحة ا ب ح بمقادير تختلف باختلاف الوزن الذى يعلق فى الخطاف فتعلّم اذ ذاك على القوس و ء النقط التى تنطبق على الجزء العلوى من الفتحة المصنوعة فى الفرع ا ب ويكتب بحذاء كل علامة الرقم الدال على الوزن المعلق فى الخطاف فاذا درجت الآلة على هذا النحو واردنا استعمالها نوصل الحلقة ء بنقطة ثابتة بواسطة حبل ثم نجعل القوة المراد قياسها تؤثر فى هـ فتنثنى الصفيحة ا ب ح كما تقدم اثناء يدل على شدة القوة المؤثرة التى تعلم بقراءة الرقم المكتوب بحذاء النقطة التى تنطبق على الجزء العلوى من الفتحة المصنوعة فى الفرع ا ب وتستعمل احياناً




دينامومترات مكونة من زنبلك حلزونى مثبت أحد طرفيه فى القاعدة العليا ا من اسطوانة معدنية ا ب معلق أسلفها خطاف هـ وينتهى طرفه الآخر بقرص ن مثبت فى مركزه ساق يمر خالصاً فى محور الاسطوانة والحلزون وينتهى من أعلى بحلقة ء يعلق منها الجهاز فاذا أثرت قوة في الخطاف هـ ارتفع الساق وظهر منه جزء خارج الاسطوانة يختلف طوله باختلاف القوة المؤثرة في الخطاف

ويدرج هذا الدينامومتر بالطريقة التى درج بها سابقه وكثيراً مايستعمل ش ١٢ بصفة ميزان وقد انشئت دينامومترات أخرى لتقدير القوى العظيمة الشدة احسنها واكثرها احساساً هو دينامومتر بونسلى لان احساسه لا يتغير بتغير شدة القوى التى

تقدر به بخلاف جميع الديناميترات الاخرى



ش (١٣)

وهو مكون من شريطين سميكين نوعاً من الصلب مرتبطين من أطرافهما ارتباطاً مفصلياً بقطعتين من الحديد فلتقدير قوة بواسطة هـذا الدينامومتر يثبت منتصف أحد الشريطين من الحلقة ء وتجعل القوة تؤثر فى منتصف الشريط الثانى بواسطة الخطاف هـ ويقرأ مقدار تباعدهما على مسطرة مقسمة مثبتة فى أحد الشريطين يتحرك امامها دليل مثبت فى الشريط الآخر

ولجعل احساس هذا الدينامومتر ثابت يصنع الشريطان بحيث يكون قطاع كل منهما على شكل القطع المكافئ وبهذه الكيفية يكون احساس الجهاز ثابتاً ومقاومة كل من الشريطين واحدة فى جميع طوله وتتضاعف المسافة التى يتباعدان بها بتأثير قوة واحدة أى ان احساس الدينامومتر يتضاعف وقد وجد موران الذى أحدث هذا التنويع أن النسبة بين القوة المؤثرة ومقدار تباعد الشريطين تبقى ثابتة الى أن يصير مقدار زيادة التباعد بين الشريطين مساوياً ١ر٠ من طول كل منهما

## (٢) العلاقات الواقعة بين القوى والعجلات والكتل

**(٢٢) قاعدتان — لايجاد العلاقات الواقعة بين القوى وما تولده من الحركات يجب قبول القاعدتين الآتيتين**

قاعدة استقلال الحركات الآنية المسماة أيضاً قاعده الحركات النسبية — تؤثر القوة فى النقطة المادية المتحركة كما تؤثر فيها لو كانت ثابتة بمعنى ان الحركة المتولدة من القوة والحركة التى كانت للنقطة قبل وقوع القوة عليها تبقيان فى آن واحد من غير ان يتغيرا

فاذا فرضنا مجموعة متحركة حركة انتقال أعنى تقطع جميع نقطها مسافات متساوية ومتوازية فى أزمنة متساوية كان تأثير كل قوة فى احدى نقطها المادية مستقلاً تمام الاستقلال عن حركة انتقال المجموعة أى انه يولد فى النقطة المذكورة حركة نسبية فى وسط المجموعة كالتى يحدثها فيها اذا كانت المجموعة ثابتة فاذا اسقط شخص راكباً قطاراً سريعاً حجراً فى القطار لاحظ ان حركته النسبية اثناء سقوطه تكون كما لو كان القطار ساكناً

قاعدة استقلال تأثير القوى الآنية — اذا أثرت عدة قوى في آن واحد فى نقطة مادية كان تأثير كل منها فى النقطة كما لو كانت تؤثر فيها على الانفراد وليست هذه القاعدة فى الحقيقة الا تكملة للقاعدة السابقة لان تأثير كل قوة من القوى على الانفراد يحدث فى النقطة المادية حركة منتظمة العجلة لا علاقة لها بتأثير القوى الاخرى

وليس لهاتين القاعدتين اثبات الا تحقيق النتائج التى توصل كلتاهما اليها بالتجربة

(٢٣) نتائج القاعدتين السابقتين — النتيجة الاولى — اذا أثرت قوة ثابتة المقدار والاتجاه فى نقطة مادية مطلقة الحركة وخارجة من السكون فانها تحدث فيها حركة مستقيمة ومنتظمة العجلة

لاجل البرهنة على ذلك نفرض ان الزمن يبتدئ فى اللحظة التى تؤثر فيها القوة وان السرعة التى تكتسبها النقطة المادية بعد تأثير القوة فيها مدة ثانية هى ع فان لم يستمر تأثير القوة فى النقطة المذكورة بعد هذه الثانية وجب أن تتحرك حركة منتظمة سرعتها تساوى ع طبقاً لقاعدة القصور الذاتى أما اذا استمر تأثير القوة ثانية أخرى فلا يكون لهذا التأثير بناء على قاعدة استقلال الحركات الآنية علاقة بسرعة النقطة المادية الاولى بل يكسبها في نهاية الثانية المذكورة سرعة اضافية ع تضم الى سرعتها بعد الثانية الاولى وتكون حينئذ السرعة بعد ثانيتين تساوى ٢ ع وهكذا وبناء على ذلك تكون السرعة س بعد مضى زمن ن هى

$$س = ع ن$$

أى ان الحركة الناتجة منتظمة العجلة أما كونها مستقيمة وفى اتجاه القوة فهو بديهى لانه لا يتأتى لقوة تحريك نقطة مادية فى اتجاه غير اتجاهها

ويمكن تطبيق ما ذكر عندما تكون للنقطة المادية سرعة ابتدائية سٓ وفى هذه الحالة يكون

$$س = سٓ + ع ن$$

وعكس النظرية السابقة صحيح أى ان كل حركة مستقيمة ومنتظمة التغير تنتج من تأثير قوة ثابتة المقدار والاتجاه

النتيجة الثانية — اذا أثر قوتان غير متساويتين كل منهما ثابتة مقداراً واتجاهاً على التعاقب فى نقطة مادية كانت النسبة بينهما كالنسبة بين العجلتين الحادثتين من تأثيرهما

فاذا فرضنا قوتين ق ، قَ ثابتتين مقداراً واتجاهاً أثرتا على التوالى في نقطة مادية وأحدثتا فيها عجلتين ع ، عَ وفرضنا وجود مقياس مشترك ل بين القوتين تحتوى عليه الاولى مرات عددها م والثانية مرات عددها مَ كان

$$\text{ق} = \text{م}\ \text{ل} \quad ، \quad \text{قَ} = \text{مَ}\ \text{ل} \quad \text{أو}$$

$$\frac{\text{ق}}{\text{قَ}} = \frac{\text{م}}{\text{مَ}} \qquad (١)$$

فاذا كانت العجلة الحاصلة من تأثير القوة ل بمفردها فى النقطة المادية تساوى و كانت العجلة الحاصلة من تأثير القوى البالغ عددها م التى يساوى كل منهـا ل تساوى م و وذلك بناء على قاعدة استقلال تأثير القوى الآنيـة وكانت كذلك العجلة الحاصلة من القوى البالغ عددها مَ تساوى مَ و وبما ان العجلتين الحاصلتين من تأثير القوتين ق ، قَ فى النقطة المادية هما ع ، عَ ينتج أن

$$\text{ع} = \text{م}\ \text{و} \quad ، \quad \text{عَ} = \text{مَ}\ \text{و} \quad \text{أو}$$

$$\frac{\text{ع}}{\text{عَ}} = \frac{\text{م}}{\text{مَ}} \qquad (٢)$$

ومن المتساويتين (١) ، (٢) ينتج

$$\frac{\text{ق}}{\text{قَ}} = \frac{\text{ع}}{\text{عَ}} \qquad (٣)$$

وهذا ما أردنا اثباته

ويوضع احياناً القانون (٣) بالصورة

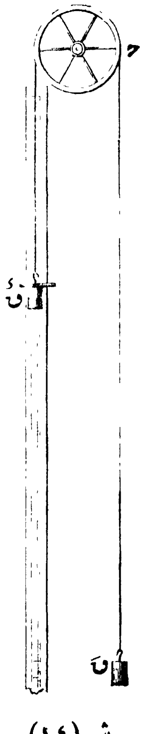
$$\frac{\text{ق}}{\text{ع}} = \frac{\text{قَ}}{\text{عَ}}$$

واذا كانت القوة المؤثرة فى النقطة المادية متغيرة كانت العجلات الحادثة فى الاوقات المختلفة مناسبة لمقادير القوة فى الاوقات المذكورة

تنبيه — اذا أثرت قوة فى جسم وجعلت جميع نقطه تتحرك حركة مشتركة فى

اتجاه القوة يمكن فى هذه الحالة اعتبار جميع نقط الجسم مجتمعة فى احدى نقطه الواقعة على اتجاه القوة وبناء على ذلك يرى انه يمكن تطبيق النتيجة السابقة فى حالة ما تكون القوى مؤثرة فى أجسام

وتستعمل آلة انوود لتحقيق النتيجتين السابقتين بالتجربة وهى تتركب من بكرة خفيفة من الالومينيوم ح يمر فى مقرها خيط رفيع من الحرير يحمل فى طرفيه ثقلين متساويين ن و نَ يحازى احدها مسطرة رأسية مقسمة الى اجزاء متساوية



ش (١٤)

فاذا فرضنا ان الثقلين ن و ن مكونان من عدد واحد من اقراص متساوية الوزن لوحظ انهما يحفظان حالة السكون أو يتحركان حركة منتظمة اذا دفع احدها دفعة خفيفة ما دام عدد الاقراص فى كل منهما واحداً وهذا يؤيد قاعدة القصور الذاتى

واذا فرضنا ان كل ثقل مكون من ٤٨ قرصاً ونقلنا قرصاً من أحدها الى الآخر فكان أحد الثقلين مكوناً من ٤٩ قرصاً والآخر من ٤٧ قرصاً يلاحظ عند ذلك ان المجموع يتحرك حركة منتظمة العجلة بتأثير وزن القرصين الزائدين فى أحد الثقلين وان مقدار العجلة الناتجة يساوى ٢٦ سنتيمتراً وهذا يؤيد النتيجة الاولى

واذا نقلنا قرصاً ثانياً من أخف الثقلين الى أثقلهما صارت القوة المسببة لحدوث الحركة تساوى وزن أربعة اقراص أى ضعف القوة المستعملة لتحريك المجموع فى الحالة الاولى ويلاحظ ان العجلة تساوى ٢ × ٢٦ = ٥٢ سنتيمتراً واذا نقلنا قرصاً ثالثاً بأن جعلنا القوة المؤثرة ثلاثة أمثالها في الحالة الاولى يلاحظ ان العجلة الحادثة

تساوى ٣ × ٢٦ = ٧٢ سنتيمتراً أى ان النسبة بين القوة المؤثرة والعجلة الحادثة لا تتغير وهذا يؤيد النتيجة الثانية

(٢٣) كتل الاجسام — كتلة الجسم هى ما جمع فيه من المادة

والوحدة المصطلح عليها لتعيين كتل الاجسام هى كتلة الجرام وهى تساوى جزءا من الف جزء من كتلة الكيلوجرام المحفوظ فى ادارة عموم المساحة بالجيزة وكتلة الجرام تساوى تقريباً كتلة سنتيمتر مكعب من الماء المقطر فى درجة + ٤ ولتعيين كتل الاجسام المختلفة بالنسبة لكتلة الجرام يستعان بالارتباط الواقع بين القوى التى تؤثر فيها والعجلات الحادثة من هذا التأثير

فاذا فرضنا عدة قوى $\text{ن}$ ، $\text{ن}'$ ، $\text{ن}''$ ، .... أثرت بالتوالى فى جسم كتلته $\text{ك}$ وأحدثت فيه حركات عجلاتها $\text{ع}$ و $\text{ع}'$ ، $\text{ع}''$ ، .... كان بناء على ما سبق

$$\frac{\text{ن}}{\text{ع}} = \frac{\text{ن}'}{\text{ع}'} = \frac{\text{ن}''}{\text{ع}''} = \cdots\cdots = \text{و}$$

أى ان النسبة $\text{و}$ لا تتغير فى الجسم الواحد مهما كان مقدار القوة المؤثرة فيه بمعنى ان النسبة المذكورة خاصة من خواص الجسم تدل عليه وتتغير بتغير مقدار المادة الموجودة فيه وزيادة على ما ذكر اذا قارنا مقادير هذه النسبة فى الاجسام المختلفة ظهر لنا انها تناسب مقادير المادة المجتمعة فيها أى كتلها لاننا اذا فرضنا جسماً كتلته $\text{ك}$ أثرت فيه قوة $\text{ن}$ وكانت العجلة المتحصلة $\text{ع}$ وفرضنا جسماً آخر كتلته $\text{ه}\,\text{ك}$ أى كتلة الجسم الاول مكررة مرات عددها $\text{ه}$ وأردنا احداث عجلة فيه تساوى $\text{ع}$ وجب بناء على قاعدة استقلال تأثيرات القوى الآنية التأثير فيه بقوى عددها $\text{ه}$ تساوى كل منها $\text{ن}$ حتى تؤثر كل واحدة منها فى $\frac{1}{\text{ه}}$ من كمية المادة المجتمة فيه وبما أن النسبة في الحالة الاولى تساوى $\frac{\text{ن}}{\text{ع}} = \text{و}$ وفي الحالة الثانيـة تساوى $\frac{\text{ه}\,\text{ن}}{\text{ع}} = \text{ه}\,\text{و}$ ينتج أن النسبة المذكورة تناسب كتلة الجسم أى ان

$$\frac{\text{ق}}{\text{ع}} = \frac{\text{ق}'}{\text{ع}'} = \frac{\text{ق}''}{\text{ع}''} = \cdots = \text{و} = \text{ك ب} \quad \text{أو}$$

$$\text{ق} = \text{ع} \times \text{ك} \times \text{ب}$$

على فرض أن ب عدد ثابت

ولمعرفة مقدار ب نفرض في المتساوية السابقة أن ك = وحدة الكتل و ع تساوى وحدة العجلات فيكون

$$\text{ق} = \text{ب}$$

أى ان العدد الثابت ب عبارة عن القوة التى اذا أثرت فى وحدة الكتل تحدث فيها عجلة تساوى وحدة العجلات

وبما ان المصطلح عليه الآن هو اعتبار القوة المذكورة المسماة داينا وحدة للقوى ينتج أن

$$\text{ب} = ١$$

وحينئذ يكون

$$\text{ق} = \text{ك ع}$$

فينتج حينئذ مما سبق انه لتعيين كتلة جسم يكفى التأثير فيه بقوة مقدرة بالداين وقسمة مقدارها على العجلة التى تحدثها مقدرة بالسنتيمتر ثانية ثانية

وبما انه ظهر من التجربة ان العجلة التى تنشأ من جذب الارض لجميع الاجسام فى النقطة الواحدة من سطحها واحدة مهما كانت كتلها فاذا رمز لوزن جسم كتلته ك بالرمز و ولوزن آخر كتلته ك' بالرمز و' والعجلة الحادثة من جذب الارض لجميع الاجسام فى النقطة التى فيها الجسمان بالرمز ه ينتج أن

$$\text{و} = \text{ك ه} \quad \text{،} \quad \text{و}' = \text{ك}'\text{ه}$$

فاذا كان و = و' ينتج أن ك = ك'

أعنى ان الاجسام المتساوية الوزن فى النقطة الواحدة من سطح الارض تكون متساوية الكتلة فيكفى حينئذ لتعيين كتلة جسم تعيين عدد كتل الجرام واجزائه التى تساويه وزناً فى نقطة واحدة من سطح الارض وهذا ما يمكن اجراؤه باستعمال الميزان المعتاد

(٢٤) العلاقة بين القوى المختلفة التى تؤثر فى أجسام مختلفة والعجلات التى تحدث من تأثيرها — اذا أثرت قوة ن فى جسم كتلته ك وأحدثت فيه عجلة ع وأثرت قوة أخرى ن َ فى جسم كتلته ك َ وأحدثت فيه عجلة ع َ كان بناء على ما سبق

$$\text{ن} = \text{ك}\,\text{ع} \quad \text{،}$$

$$\text{ن}' = \text{ك}'\,\text{ع}'$$

ومن ذلك ينتج

$$\frac{\text{ن}}{\text{ن}'} = \frac{\text{ك}\,\text{ع}}{\text{ك}'\,\text{ع}'} \qquad (١)$$

أى ان النسبة بين القوتين كالنسبة بين حاصلى ضرب كتلتى الجسمين فى عجلتيهما

واذا ضرب حدا الطرف الثانى من (١) فى ر ينتج

$$\frac{\text{ن}}{\text{ن}'} = \frac{\text{ك}\,\text{ع}\,\text{ر}}{\text{ك}'\,\text{ع}'\,\text{ر}} = \frac{\text{ك}\,\text{س}}{\text{ك}'\,\text{س}'} \qquad (٢)$$

أى انه اذا أثرت قوتان فى جسمين خارجين من سكون فالنسبة بين القوتين بعد زمن ما تساوى النسبة بين حاصلى ضرب كتلتى الجسمين فى سرعتيهما بعد هذا الزمن

وبما ان حاصل ضرب كتلة جسم فى سرعته فى وقت ما يسمى كمية حركة الجسم ينتج أن تغير كمية الحركة في زمن ما يكون مناسباً للقوة المحدثة له

وتسمى قاعدة القصور الذاتى وقاعدة تساوى الفعل ورد الفعل وهذه القاعدة الاخيرة أى قاعدة تناسب مقادير تغير الحركة لمقادير القوى المحدثة لها قوانين نيوتن لانه الواضع لها

واذا فرض فى (٢) ان ن = نَ ينتج أن

$$\frac{س}{سَ} = \frac{كَ}{ك}$$

أى انه اذا أثرت قوتان متساويتان فى جسمين مختلفين خارجين من سكون فالنسبة بين سرعتيهما بعد زمن ما تساوى عكس النسبة بين كتلتيهما

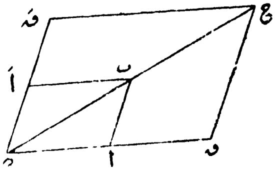
(٢٥) وحدة القوى العلمية — قد ذكر فيما سبق ان وحدة القوى العلمية هى القوة التى اذا أثرت فى وحدة الكتل تحدث فيها عجلة تساوى وحدة العجلات وانها تسمى داينا وبما ان وزن الجرام فى مدينة القاهرة يساوى كتلته فى العجلة الحادثة من جذب الارض له أى فى ٩٧٩ر١٢ سنث ينتج ان وزن الجرام فى مدينة القاهرة يساوى ١ × ٩٧٩ر١٢ = ٩٧٩ر١٢ داينا أى ان الداين يساوى تقريبا جزءا من الف من وزن الجرام أعنى انه قوة صغيرة جداً ولذا تستعمل وحدة علمية أخرى تسمى ميجا داينا وهى حاصل ضرب الداين فى مليون أى فى $١٠^{٦}$ والميجا داين يساوى تقريباً وزن كيلوجرام

## (٣) تحصيل وتحليل القوى الآنية

(٢٦) تعريف — تحصيل عدة قوى آنية هو ايجاد قوة واحدة تعمل عملها وتسمى القوة الناتجة محصلة القوى الآنية وهذه القوى تسمى مركبات المحصلة

(٢٧) تحصيل قوتين ثابتتين واقعتين فى نقطة مادية واحدة — اذا فرضنا ان ن ، نَ قوتان ثابتتان واقعتان فى آن واحد فى نقطة مادية ٢ فكل منهما تؤثر فى النقطة المذكورة كما لو كانت واقعة عليها بمفردها

وبما ان تأثير كل من القوتين ن ، نَ على الانفراد يحدث فى النقطة المادية حركة مستقيمة ومنتظمة العجلة على اتجاهها ينتج أن الحركة المحصلة الناتجة من تأثير القوتين



ش (١٥)

حركة مستقيمة ومنتظمة العجلة تعين عجلتها مقداراً واتجاهاً بقطر متوازى الاضلاع المنشأ على العجلتين الحادثتين من تأثير القوتين ن و نَ فاذا فرض ان العجلة الحادثة من تأثير القوة الاولى تساوى م ا والعجلة الحادثة من تأثير القوة الثانية تساوى م اَ كانت العجلة الحادثة من تأثير القوتين معاً مبينة مقداراً واتجاهاً بالخط ا ب — أعنى ان تأثير القوتين ن و نَ فى النقطة المادية م يحدث فيها حركة مستقيمة ومنتظمة العجلة تعين عجلتها مقداراً واتجاهاً بقطر متوازى الاضلاع المنشأ على العجلتين الحادثتين من تأثير القوتين

ولايجاد القوة المحصلة نقول ان القوة المذكورة هى التى تحدث فى النقطة المادية حركة منتظمة العجلة فى الاتجاه م ب وحينئذ يجب أن يكون اتجاهها عين اتجاه المستقيم المذكور وبانشاه متوازي الاضلاع م ن ع نَ على القوتين ن و نَ ومد قطره ع م ينتج مثلثان ع ن م و ب ا م فيهما ( مع فرض ان كتلة النقطة المادية تساوى ك )

$$\angle\,\text{ع ن م} = \angle\,\text{ب ا م}$$

$$\text{ك} = \frac{\text{م ن}}{\text{م ا}} = \frac{\text{م نَ}}{\text{م اَ}} = \frac{\text{ن ع}}{\text{ا ب}}$$

وحينئذ يكون المثلثان متشابهين و ينتج من تشابهها أن

$$\angle\,\text{ع م ن} = \angle\,\text{ب م ا}$$

أى ان اتجاه المستقيمين ع م و م ب واحد وحينئذ يكون ع م أى قطر متوازى الاضلاع المنشأ على القوتين معيناً لاتجاه محصلتهما

ولايجاد مقدار المحصلة المذكور نقول انه ينتج أيضاً من تشابه المثلثين ع ن م و ب ا م أن

$$\text{ك} = \frac{\text{م ن}}{\text{م ا}} = \frac{\text{م ع}}{\text{م ب}}$$

أى ان طول قطر متوازى الاضلاع يعين أيضاً مقدار المحصلة

و ينتج مما سبق القاعدة الآتية

محصلة القوتين الاثنيتين الواقعتين فى نقطة مادية واحدة تعين مقداراً واتجاهاً بقطر متوازى الاضلاع المنشأ عليهما

وتسمى طريقة التحصيل هذه قاعدة متوازى اضلاع القوى

و ينتج من المثلث ع ں ه أن

$$\text{ع}^{2} = \text{ں}^{2} + \text{ں}'^{2} + 2\,\text{ں} \times \text{ں}' \ \text{جتا}\ \text{ں ه ں}' \qquad (1)$$

ومن هذه المتساوية يمكن استخراج المحصلة اذا علم مقدار كل من القوتين والزاوية المحصورة بينهما

و ينتج أيضاً من المثلث المذكور أن

$$\frac{\text{ع}}{\text{جا}\angle\,\text{ں ں}'} = \frac{\text{ں}}{\text{جا}\angle\,\text{ع ں}'} = \frac{\text{ں}'}{\text{جا}\angle\,\text{ع ں}} \qquad (2)$$

ومن هذا التساوى يمكن استخراج الزاويتين المكونتين من المحصلة واتجاه كل من القوتين

واذا فرض فى (١) ان القوتين على استقامة واحدة وفى اتجاه واحد كان جتا ں ه ں' = ١ وبذلك يكون

$$\text{ع}^{2} = \text{ں}^{2} + \text{ں}'^{2} + 2\,\text{ں}\cdot\text{ں}' = (\text{ں} + \text{ں}')^{2} \quad \text{أو}$$

$$\text{ع} = \text{ں} + \text{ں}'$$

أعنى ان المحصلة تكون مساوية لمجموع المركبتين لها

ولايجاد اتجاهها يستخرج من (٢) أن

$$\text{جا}\angle\,\text{ع ں} = \frac{\text{ں}' \times \text{جا}\angle\,\text{ں ں}'}{\text{ع}} = \frac{0}{\text{ع}} = 0 \quad \text{أو}$$

< ع ن = ٠  ويوجد بالطريقة عينها أن < ع نَ = ٠

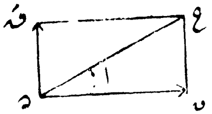
أعنى ان المحصلة تكون فى اتجاه كل من المركبتين

واذا كانت القوتان على استقامة واحدة وفي اتجاهين متضادين كان

جتا ن ۸ نَ = −١ وبذلك يكون

ع$^{٢}$ = ن$^{٢}$ + نَ$^{٢}$ − ٢ ن . نَ = (ن − نَ)$^{٢}$ أو

ع = ن − نَ



أعنى ان المحصلة تساوى الفرق بين المركبتين

ويمكن أن يستخرج من (٢) انها في اتجاه الـكبرى منها

واذا صنعت احدى القوتين مع الاخرى زاوية قائمة كان

ش (١٦)

ع$^{٢}$ = ن$^{٢}$ + نَ$^{٢}$

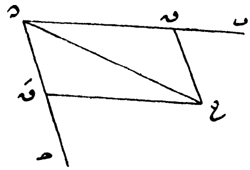
ولايجاد اتجاه المحصلة يرمز بالرمز ا للزاوية التى تصنعها مع القوة ن فيكون

جا ا = نَ / ع  (٥)

جتا ا = ن / ع  ومن ذلك ينتج

ظا ا = نَ / ن

(٢٨) تحليل قوة معلومة الى قوتين أخريين موجودتين معها فى مستو واحد — كما انه أمكن تحصيل قوتين مؤثرتين فى نقطة واحدة كذلك يمكن فى كثير من الاحوال تعويض قوة واحدة بقوتين تعملان عملها وهذا ما يعبر عنها بتحليل القوى فاذا أريد تحليل القوة ع المبينة مقداراً واتجاهاً بالمستقيم ۸ ع والمؤثرة فى نقطة ۸ بقوتين أخريين على الاتجاهين ب ۸ ٥ ۸ هـ الموجودين مع القوة المعلومة فى مستو واحد نمد من نقطة ع مستقيمين

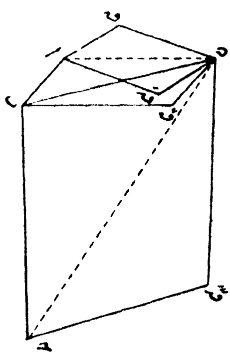


ع ى ه ع ى َ موازيين للاتجاهين المعلومين فالضلعين ى ٢ ه ى ٢ ى َ لمتوازى الاضلاع ٢ ى ع ى َ يكونان مبينين لمركبتى القوة المعلومة على الاتجاهين المعلومين

ش (١٧)

ومن الممكن أيضاً تحليل قوة ع الى أخريين موجودتين معها فى مستو واحد اذا علمت احداهما ٢ ى فى المقدار والاتجاه ولذلك نصل ع ى ونمد من ع ه ٢ موازيين الى ى ٢ ه ع ى فالضلع ٢ ى َ لمتوازى الاضلاع ٢ ى ع ى َ يكون مبيناً للمركبة الثانية للقوة المعلومة

(٢٩) تعيين محصلة عدد أياً كان من القوى الواقعة فى نقطة واحدة — اذا أريد تحصيل جملة قوى مثل ى ه ى َ ه ى ً ه ى ً ً ه هلم جراً واقعة فى نقطة مادية واحدة مثل ٢ ( وموجودة أو غير موجودة فى مستو واحد ) نحصل أولاً اثنتان منها مثل ى ه ى َ ثم نحصل محصلتهما ٢ ا مع القوة الثالثة ى ً ثم نحصل محصلة الثلاث القوى المذكورة وهى ٢ ب مع القوة الرابعة وهكذا حتى نحصل جميع القوى المذكورة بقوة واحدة تسمى بالمحصلة العمومية — ويؤخذ من كيفية التحصيل المتقدمة انه لايجاد المحصلة العمومية يكفى ان يرسم من النقطة ى مستقيم ى ا مساو ومواز ى َ ثم من النقطة ا مستقيم ا ب مساو ومواز ى ً ثم من النقطة ب مستقيم ب حـ مساو ومواز ى ً ً وهكذا فالمحصلة العمومية تكون مبينة مقداراً واتجاهاً بالخط الواصل من نقطة ٢ الى طرف المستقيم الموازى للقوة النهائية

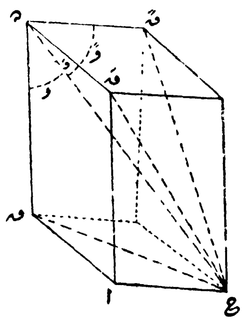


ش (١٨)

وتسمى قاعدة التحصيل هذه قاعدة مضلع القوى

تنبيه — اذا وقعت نهاية المستقيم الموازى للقوة النهائيـة على نهاية القوة المذكورة أعنى اذا كان المضلع مقفلاً من نفسه كانت المحصلة معدومة ويقال حينئذ ان القوى المفروضة ى ى ى ى ى ى هلم جراً في حالة التوازن أو متزنة ويقال للتوازن حينئذاك توازن سكون اذا كانت النقطة المادية ثابتـة وتوازن تحرك ان كانت متحركة ويكون تحركها حينئذ منتظماً ومنسوباً لسرعة ابتدائية معينة

(٣٠) تحصيل ثلاث قوى واقعة فى نقطة مادية وليست في مستو واحد — اذا أريد تحصيل ثلاث قوى ى ى ى ى ليست في مستو واحد يرسم بناء على القاعدة السابقة ى ا يساوى ويوازى ه ى ثم ا ع يساوى ويوازى ه ى فيكون ه ع مبيناً مقداراً واتجاهاً المحصلة المطلوبة



ويرى بالسهولة ان المحصلة المذكورة عبارة عن قطر متوازى السطوح المنشأ على المستقيمات الثلاثة المبينة مقداراً واتجاهاً للقوى الثلاث المذكورة

وطريقة التحصيل هذه تسمى قاعدة متوازى سطوح القوى

ش (١٩)

(٣١) العلاقات الواقعة بين ثلاث المركبات المتعامدة ومحصلتها — متى كانت الثلاث القوى المركبات متعامدة يمكن بالسهولة تعيين مقدار المحصلة بالنسبة لمقادير القوى الثلاث لانه ينتج من المثلث القائم الزاوية ه ى ع أن

$$ع^{٢} = ى^{٢} + ع ى^{٢}$$

ومن المثلث القائم الزاوية ع ا ى أن

$$ع ى^{٢} = ى'^{٢} + ى''^{٢}$$

وبذلك يكون

$$ع^{٢} = ن^{٢} + نَ^{٢} + نً^{٢}$$

ومن هذه المعادلة يعلم مقدار المحصلة ع

ومن الثلاثة المثلثات القائمة الزوايا ع د ن ، ع د نَ ، ع د نً ينتج

$$حتا\ و = \frac{ن}{ع}$$

$$حتا\ وَ = \frac{نَ}{ع}$$

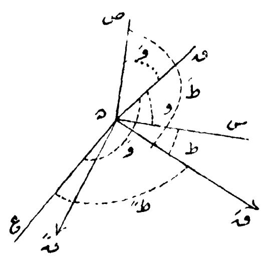
$$حتا\ وً = \frac{نً}{ع}$$

ومن هذه المتساويات الثلاث تعلم مقادير الزوايا التى تصنعها المحصلة مع اتجاه كل من القوى الثلاث وبتربيع طرفى كل من المتساويات الثلاث السابقة وضم النواتج بعضها الى بعض ينتج

$$حتا^{٢}\ و + حتا^{٢}\ وَ + حتا^{٢}\ وً = ١$$

(٣٢) العلاقة بين المحصلة والمركبات التى عددها ووضعها أياً كان — النظرية السابقة توصلنا لايجاد العلاقة بين المحصلة والمركبات التى عددها ووضعها حيثما اتفق

فاذا فرضنا عدداً أياً كان من القوى ن ، نَ ، نً ، هلم جراً واقعه فى نقطة مادية د فلايجاد مقدار المحصلة واتجاهها نمرر بنقطة تأثير القوى ثلاثة محاور د س ، د ص ، د ع متعامدة ثم نحلل كل من القوى المذكورة الى ثلاث قوى فى اتجاه الثلاثة المحاور فبناء على ما تقدم فى النظرية السابقة تكون مركبات القوة ن فى اتجاه المحاور الثلاثه مساوية على التناظر




ش (٢٠)

ن حتا و ، ن حتا وَ ، ن حتا وً

ومركبات القوة نَ مساوية على التناظر

نَ حتا ط ، نَ حتا طَ ، نَ حتا طً الخ

مع ملاحظة ان هذه المركبات تكون موجبة أو سالبة حسبما تكون الزوايا د ، ط ، هلم جرًّا حادة أو منفرجة

واذا رمزنا بالرموز س ، ص ، ع لمحصلات المركبات الجزئية الموجودة على كل من المحاور الثلاثة ينتج

$$\text{س} = \text{ن حتا د} + \text{ن حتا ط} + \cdots \text{ الخ}$$

$$\text{ص} = \text{ن حتا دَ} + \text{ن حتا طَ} + \cdots \text{ الخ}$$

$$\text{ع} = \text{ن حتا دً} + \text{ن حتا طً} + \cdots \text{ الخ}$$

وبما ان القوى س ، ص ، ع فى اتجاهات متعامدة فتكون محصلتها ح مبينة بالمتساوية الآتية

$$\text{ح}^{2} = \text{س}^{2} + \text{ص}^{2} + \text{ع}^{2}$$

ويعين اتجاه المحصلة المذكورة بتعيين الزوايا الثلاث التي تصنعها مع المحاور الثلاثة فاذا رمز للزوايا المذكور بالاحرف ا ، ب ، حـ ينتج بناء على ما سبق أن

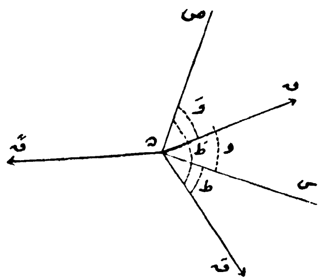
$$\text{حتا ا} = \frac{\text{س}}{\text{ح}}$$

$$\text{حتا ب} = \frac{\text{ص}}{\text{ح}}$$

$$\text{حتا حـ} = \frac{\text{ع}}{\text{ح}}$$

(٣٣) الحالة التي تكون فيها جميع القوى في مستو واحد — متى كانت جميع المركبات في مستو واحد يمرر بنقطة تأثير القوى في المستوى الحاوى لها محوران متعامدان س ، ص

ثم تحلل كل منها الى قوتين في اتجاه المحورين فبناء على ما تقدم تكون مركبتا القوة ى في اتجاه المحورين مساويتين على التناظر الى




ش (٢١)

ى حتا و ، ى حتا وَ

ومركبتا القوة ىَ مساويتين على التناظر الى

ىَ حتا ط ، ىَ حتا طَ وهلم جرا

مع ملاحظة ان هذه المركبات تكون موجبة أو سالبة حسبما تكون الزوايا و،ط وهلم جراً حادة أو منفرجة

واذا رمزنا بالرمزين س ، ص لمحصلتي المركبات الجزئية على كلا المحورين وبالرمز ع للمحصلة الكلية ينتج

$$ع^{٢} = س^{٢} + ص^{٢} \qquad (١)$$

واذا رمز بالرمز ا للزاوية التي تصنعها المحصلة مع المحور س ه كان

$$حا ا = \frac{ص}{ع} \quad ،$$

$$حتا ا = \frac{س}{ع}$$

وبقسمة احدى هاتين المتساويتين على الاخرى ينتج

$$طا (ا) = \frac{ص}{س} \qquad (٢)$$

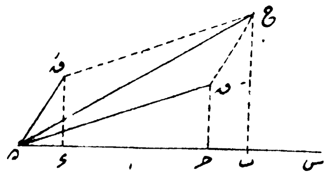
فالمتساويتان (١) ، (٢) تعينان مقدار المحصلة واتجاهها

(٣٤) توازن القوى المؤثرة في نقطة واحدة — لاجل أن تتزن عدة قوى ى ، ىَ ، ىً ، هلم جراً واقعة فى نقطة مادية يلزم ويكفى أن تكون محصلتها معدومة واذ ذاك تكون احدى القوى المفروضة مساوية ومضادة لمحصلة باقي القوى الاخرى فحينئذ ينتج من

ذلك انه اذا كانت القوى ثلاثاً وجب ان تكون فى مستو واحد ومحققة للارتباط الآتى

$$\frac{ق}{جا\ ق'\ ق''} = \frac{ق'}{جا\ ق\ ق''} = \frac{ق''}{جا\ ق\ ق'}$$

(٣٥) العلاقة بين مساقط القوى المؤثرة فى نقطة مادية ومسقط محصلتها على محور ما — ذا فرضنا ان ق ، ق' قوتان واقعتان فى النقطة المادية م وان ع محصلتهما وفرضنا محوراً حيثما كان م س وأنزلنا من النقط ع ، ق ، ق' مستويات عمودية على هذا المحور وفرضنا ان ب ، حـ ، ء نقط تقابل هذه المستويات بالمحور المذكور ووصلنا ع ب ، ق حـ ، ق' ء فهذه الخطوط تكون عمودية على س م وتكون الاطوال م حـ ، م ء ، م ب تساوى مساقط ق ، ق' ، ع على التناظر على المحور م س




ش (٢٢)

ومن حيث أن م ب = م حـ + حـ ب

وكذلك حـ ب = م ء لانهما مسقطا مستقيمين متوازيين ومتساويين على مستقيم واحد ينتج أن

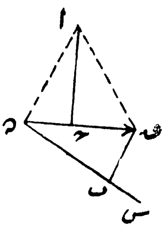
م ب = م حـ + م ء

أى ان مسقط المحصلة يساوى مجموع مسقطى المركبتين

واذا فرض ان المركبتين مكونتان زاوية منفرجة ينتج باتباع الطريقة السابقة أن مسقط المحصلة يساوى الفرق بين مسقطى المركبتين غير اننا لو اصطلحنا على ان المساقط التى فى جهة واحدة مع مسقط المحصلة موجبة والمساقط التى فى جهة مضادة سالبة لامكن ذكر القاعدة بطريقة عامة وهى الآتية

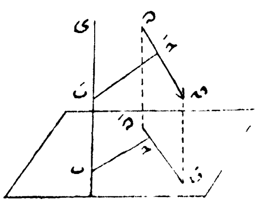
المجموع الجبرى لمسقطى المركبتين على محور يساوى مسقط محصلتهما على نفس المحور وهذه القاعدة صحيحة مهما كان عدد المركبات

(٣٦) عزم قوة بالنسبة لنقطة — عزم قوة بالنسبة لنقطة هو حاصل ضرب شدة القوة فى بعدها عن النقطة فعزم القوة ى بالنسبة للنقطة ا يساوى حاصل ضرب ء ى فى ا حـ أى ضعف مساحة المثلث ا ء ى وهى تساوى أيضاً حاصل ضرب المستقيم ا ء فى مسقط القوة على المستقيم ء س العمودى عليه فاذا فرض حينئذ عدد أياً كان من القوى ى ى ى ى ى وهلم جراً الواقعة فى نقطة مادية وكان المراد ايجاد العلاقة بين عزومها وعزوم محصلتها بالنسبة لنقطة ا نرسم من ء مستقيماً عمودياً على ا ء فينتج بناء على ما سبق ان مسقط المحصلة على المستقيم المذكور يساوى المجموع الجبرى لمساقط القوى أى ان عزم المحصلة يساوى المجموع الجبرى لعزوم القوى وتعتبر عزوم القوى التى تدير ا ء فى الاتجاه الذى تديره فيه المحصلة موجبة وعزوم التى تديره فى اتجاه مضاد سالبه



ش (٢٣)

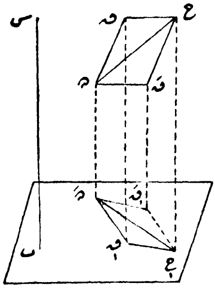
(٣٧) العزم بالنسبة لمحور -- عزم قوة بالنسبة لمحور هو عزم مسقطها على مستو عمود على المحور بالنسبة للنقطة التى تقابل فيها المحور المستوى المذكور أعنى ان عزم القوة ى بالنسبة للمحور ى ب يساوى ءَ ىَ × ب حـ = ءَ ىَ × حـَ بَ ومن ذلك يستنتج تعريف آخر لعزم قوة بالنسبة لمحور وهو حاصل ضرب مسقط القوة المذكورة على مستو عمود على المحور فى البعد بينها وبين المحور المذكور



ش (٢٤)

ومن هذا التعريف ينتج انه اذا كانت القوة والمحور فى مستو واحد بأن كانت

موازية أو قاطعة له فان عزمها بالنسبة اليه يكون معدوماً




ش (٢٥)

(٣٨) العلاقة بين عزوم المركبات وعزم المحصلة بالنسبة لمحور — اذا فرضنا أن ق ٥ قَ قوتان واقعتان فى نقطة ماديه ٢ وان ع محصلتهما واسقطنا الشكل ق ٢ قَ ع على مستو عمود على المحور س - كان مسقطه متوازى اضلاع وكان حينئذ مسقط المحصلة ع يساوى محصلة مسقطى المركبتين وبما ان عزم ع بالنسبة للنقطة - يساوى المجموع الجبرى لعزمي ب ٥ بَ بالنسبة للنقطة المذكورة ينتج ان عزم المحصلة ع بالنسبة للمحور س - يساوى المجموع الجبرى لعزمي المركبتين ق ٥ قَ بالنسبة للمحور المذكور

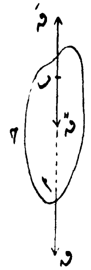
وتطبق هذه القاعدة أيضاً مهما كان عدد المركبات

(٣٩) تعريف الاجسام الصلبة — فى علم الطبيعة يطلق اسم جسم تام الصلابة على كل جسم ترتبط اجزاؤه بعضها ببعض ارتباطاً غير متغير بمعنى انه مكون من نقط مادية ابعادها لا تتغير ولم يخلق الله جسماً ينطبق عليه هذا الوصف وكل الاجسام مهما كانت صلابتها قابلة لتغير شكلها بآثار قوى يختلف مقدارها شدة وضعفاً

والخواص التى سنثبتها خاصة بالاجسام التامة الصلابة تنطبق على الاجسام الصلبة العادية فى الاحوال التى تكون فيها القوى المؤثرة فيها غير كافية لاحداث تغير محسوس فى شكلها

(٤٠) تحصيل القوى الآنية المؤثرة فى جسم صلب — اذا أثرت عدة قوى آنية فى جسم صلب فلا تكون لها محصلة الا اذا تقابلت امتداداتها فى نقطة أو كانت متوازية وللوصول لايجاد المحصلة فى كلتا الحالتين يجب أولاً ذكر القضية الآنية والبرهنة عليها

عند ما تكون قوة واقعة فى جسم يمكن فرض انتقال نقطة تأثيرها على اتجاهها فى نقطة اية كانت من الجسم بل يمكن أيضاً فرض انتقال النقطة المذكورة على اتجاه القوة فى نقطة خارج الجسم مع فرض ان النقطة المذكورة مرتبطة بالجسم بلا تغير أعني انه اذا كانت قوة ں واقعة فى نقطة ا من جسم صلب حـ ٥ ـب نقطة اية كانت مأخوذة على اتجاه القوة المذكورة فانه يمكن نقل نقطة تأثيرها من ا الى ب بدون أن يعترى نتيجة تأثير القوة أدنى تغير

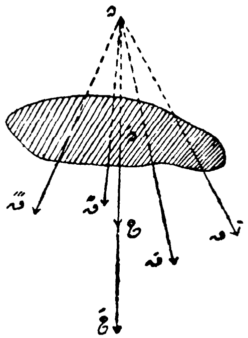


ش (٢٦)

للبرهنة على ذلك نوجد فى نقطة ب وفى اتجاه القوة ں قوتين ںَ ٥ ںً متساويتين ومتضادتين وتساوي شدة كل منهما شدة القوة ں فمن البديهي ان ادخال هاتين القوتين لا ينبنى عليه أقل تغيير فى نتيجة تأثير القوة الاولى من حيث انهما تتزنان وبما أن لا نتيجة لتأثير القوتين ںَ ٥ ں الا ابعاد النقطتين ب ٥ ا احداهما عن الاخرى وهذا لا يتأتى لفرض ان نقط الاجسام الصلبة مرتبط بعضها ببعض بلا تغير يرى انه يمكن حذف القوتين المذكورتين وحينئذ لا يبقى الا القوة ںَ أى القوة ں منتقلة نقطة تأثيرها من ا الى ب

واذا كانت النقطة ب خارج الجسم ومفروضاً ارتباطها معه بلا تغير فالبرهان يكون بعينه الا انه يجب ملاحظة أن انتقال القوة ں فى هذه النقطة انما هو على سبيل الفرض التصورى الذي يحتاج اليه أحياناً واسطة للبرهنة

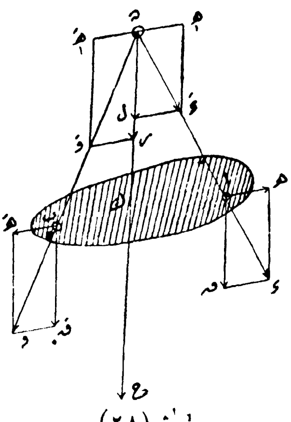
(٤١) تحصيل القوى الآنية التى تتقابل فى نقطة واحدة — اذا وقعت عدة قوى آنية




ش (٢٧)

تتقابل فى نقطة واحدة ولتكن ق ، قَ ، قً وهلم جراً فى جسم صلب فى عدة نقط منه وفرض أن نقطة تقابلها ن مرتبطة مع الجسم بدون تغير كان من الممكن فرض انتقال نقط تأثير كل قوة على اتجاهها فى نقطة ن وحينئذ يؤول الامر الى تحصيل عدة قوى مؤثرة فى نقطة واحدة تحصل بالطريقة السالف ذكرها واذا قابلت محصلة القوى ن ع الجسم أمكن فرض نقل نقطة تأثيرها الى أي نقطة مثل نَ من نقط تقابلها معه

(٤٢) تحصيل قوتين متوازيتين ومتحدتى الجهة واقعتين فى جسم صلب — اذا فرض أن ق ، قَ قوتان متوازيتان متحدتا الجهة وواقعتان فى جسم صلب في نقطتى ا ، ب




ش (٢٨)

منه . فلايجاد محصلتهما نوقع فى نقطتى ا ، ب على ذات المستقيم ا ب قوتين هـ ، هـَ متساويتين ومتضادتى الاتجاه فمن الواضح ان ادخال هاتين القوتين لا يحدث أقل تغيير على نتيجة تأثير القوتين المتوازيتين من حيث انهما تتزنان ثم نعوض القوتين هـ ، ق بقوة واحدة د وكذا نعوض القوتين هـَ ، قَ بقوة واحدة دَ ثم نمد القوتين المحصلتين على استقامتيهما حتى يتقابلا فى نقطة ن فاذا فرضنا هذه النقطة مرتبطة مع الجسم بدون تغير أمكن نقل نقطتي تأثير القوتين د ، د الى ن بحيث تأخذ القوتان المذكورتان الوضعين دَ ، دً فاذا حللنا كلاً من القوتين

المذكورتين الى قوتين احـداهما فى اتجاه مواز للمستقيم ا ب والاخرى فى اتجاه مواز لاتجاه القوتين ق و قَ يحدث فى نقطة ح اربع قوى منها اثنتان متساويتان ومتضادتان وهما م و مَ يمكن حذفهما واثنتان أخريان متحدتا الاتجاه والجهـة وهما ل و ر لهما محصله تساوي مجموعهما وفى اتجاههما أي تساوي مجموع القوتين ق و قَ وفى اتجاه مواز لهما واذا نقلت نقطة تأثير المحصـلة المذكورة الى نقطة ك التي يقابل فيها اتجاهها الخط الواصل بين نقطتى تأثير القوتين كان ك ع = ح ل + ح ر = ق + قَ معيناً لمقدار واتجاه المحصلة المطلوبة

ولايجاد موضع نقطة ك على الخط ا ب يقال انه ينتج من تشابه المثلثين ا ء ق و ح ا ك ان

$$\frac{\text{ح ك}}{\text{ا ك}} = \frac{\text{ق}}{\text{ء ق}} \qquad (١)$$

ومن تشابه المثلثين ح ك ب و ب قَ ء ينتج ايضاً

$$(٢) \quad \frac{\text{ح ك}}{\text{ب ك}} = \frac{\text{قَ}}{\text{ء ق}}$$

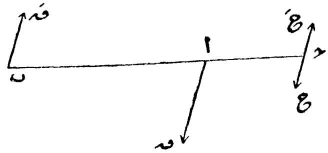
وبقسمته المتساوية (١) على المتساوية (٢) كل طرف على نظيره ينتج

$$\frac{\text{ب ك}}{\text{ا ك}} = \frac{\text{ق}}{\text{قَ}}$$

أعني أن نقطة ك تقسم الخط ا ب الى جزأين مناسبين تناسباً عكسياً للقوتين المركبتين فينتج من ذلك أن محصلة القوتين المتوازيتين المتحدتي الجهـة المؤثرتين فى جسم صلب تكون موازية لهمـا ومتجهة فى جهتهما وموجودة فى مستويهما ومساوية لمجموعهما ونقطة تأثيرها تقسم المستقيم الواصل بين نقطتي تأثيرهما الى قسمين مناسبين لعكس النسبة بين القوتين المذكورتين

وينتج مما سبق ايضاً أن النسبة بين بعدي المحصـلة عن مركبتها كالنسبة العكسية بين المركبتين المذكورتين

(٤٣) تحصيل قوتين متوازيتين ومختلفتي الجهة واقعتين فى جسم صلب اذا كانت القوتان ق ، قَ متوازيتين ومختلفتي الجهة فلايجاد محصلتهما نمد المستقيم ب ا الواصل بين نقطتي تأثيرهما من جهة القوة الكبرى ونأخذ على امتداده البعد ب حـ بشرط أن يكون



ش (٢٩)

$$\frac{\text{حـ ب}}{\text{حـ ا}} = \frac{\text{ق}}{\text{قَ}}$$

ثم نوقع في نقطة حـ قوتين ع ، عَ متضادتي الاتجاه وموازيتين للقوتين ق ، قَ وتساوى كل منهما الفرق بين القوتين المذكورتين ثم نحصل القوتين عَ ، قَ فتكون محصلتهما بناء على ما سبق تساوى مجموعهما أي $\text{عَ} + \text{قَ} = \text{ق}$ وتقسم الخط حـ ب الى جزأين مناسبين لعكس القوتين وبما أن

$$\frac{\text{حـ ب}}{\text{حـ ا}} = \frac{\text{ق}}{\text{قَ}}$$

فيكون $\dfrac{\text{حـ ب} - \text{حـ ا}}{\text{حـ ا}} = \dfrac{\text{ق} - \text{قَ}}{\text{قَ}}$ او

$$\frac{\text{ا ب}}{\text{حـ ا}} = \frac{\text{عَ}}{\text{قَ}}$$

أى ان نقطة ا هى نقطة تأثير المحصلة المطلوبة

أعني أن محصلة القوتين عَ ، قَ تساوى قوة ق وفى اتجاه مضاد لها وعلى ذلك تحدث معها توازناً وتكون حينئذ قوة ع الباقية هى القوة التى تعمل عمل القوتين ق ، قَ أى محصلتهما

وينتج من ذلك ان محصلة قوتين متوازيتين ومختلفتى الجهة ومؤثرتين فى جسم صلب تكون موازية لهما ومتجهة فى جهة اكبرهما وموجودة فى مستويهما ومساوية

لفرقهما ويقطع اتجاهها امتداد الخط الواصل بين نقطتى تأثيرهما فى نقطة بعداها عن نقطتي تأثير القوتين مناسبان لعكس النسبة بين القوتين

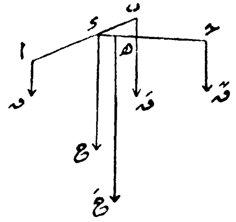
تنبيه — اذا طبقت القاعدة السابقة فى الحالة التى تكون فيها القوتان ں ں ں متساويتين أى مكونتين لما يسمى ازدواجاً يرى أن محصلتهما تكون معدومة ونقطة تأثيرها على بعد لا نهاية له من نقطتى تأثير القوتين

والحقيقة أن للازدواج تأثيراً خاصاً به لا تحدثه أى قوة على الانفراد بمعنى أن الازدواج لا يحدث حركة انتقال فى الاجسام الواقع عليها كما تحدثه القوى

ومن الاجسام الواقع عليها الازدواج الابر الممغطسة فاذا وزنت أبرة قبل وبعد مغطستها شوهد أن وزنها لا يزيد ولا ينقص وهذا يدل على أن التمغطس لا يحدث حركة انتقال رأسية كذا اذا علقت ابرة قبل وبعد مغطستها في خيط لوحظ ان الخيط لا يتعدى وضعه الرأسي وهذا يدل على أن التمغطس لا يولد حركة انتقال أفقيـة فينتج من ذلك ان التمغطس لا يحدث حركة الجسم الممغطس فى جهة ما بل ان تأثيره يكون قاصراً على وضع الابرة في اتجاه معين تعود اليه كلما حولت عنه

وكذا الاجسام الطافية تكون واقعـة تحت تأثير ازدواج أى انها تكون متأثرة بقوتين متساويتين متوازيتين ومتضادتي الجهة ولذلك لا تسكن الا فى وضع مخصوص والوضع الذى تتزن فيه الاجسام الواقع عليها ازدواج هو الوضع الذى تكون فيه القوتان على اتجاه واحد ومختلفتي الجهة اى في الوضع الذى يمحو فيـه تأثير احدى القوتين تأثير القوة الاخرى

**(٤٤) تحصيل عدة قوى متوازية واقعة فى جسم صلب** — اذا كان المطلوب تحصيل



ش (٣٠)

عدة قوى متوازية متجهة فى جهة واحدة مثل ن ٥ نَ ٥ نً ٥ هلم جراً التى نقط تأثيرها على التوالي هى ا ٥ ب ٥ حـ ٥ هلم جراً نحصل اولاً القوتين ن ٥ نَ بالطريقة السابقة ولتكن محصلتهما ع التى توجد نقطة تأثيرها على المستقيم ا ب فى نقطة ء منه تقسمه الى قسمين مناسبين تناسباً عكسياً للقوتين ن ٥ نَ ويساوى مقدارها ن + نَ ثم نحصل ع مع القوة نً المؤثرة في نقطة حـ ولتكن محصلتهما عَ الواقعة فى نقطة هـ من المستقيم حـ ء المقسوم بها الى قسمين مناسبين عكسياً لنسبة القوتين نً ٥ ع أما مقدار عَ فيكون مساوياً الى ن + نَ + نً وهكذا فالمحصلة الاخيرة تكون المحصلة الكلية المطلوبة ويشاهد أن المحصلة الاخيرة تكون مساوية لمجموع المركبات وموازية لها ومتجهة فى جهتها ونقطة تأثيرها تكون معينة بغاية الضبط

واذا كانت بعض القوى المتوازية الواقعة فى جسم متجهاً فى جهة وبعضها الا خر متجهاً في جهة أخرى يبدأ بتحصيل القوى المتجهة فى الجهة الاولى بقوة واحدة ثم تحصل القوى المتجهة في الجهة الثانية بقوة واحدة أيضاً فالجملة تؤول حينئذ الى قوتين متوازيتين متجهتين فى جهتين متضادتين فتحصلان بقوة واحدة كما تقدم فتكون محصلتهما المحصلة الكلية المطلوبة

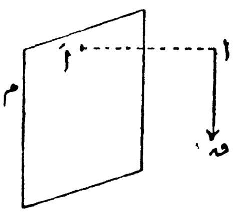
وقد يتأتي أن القوتين المختلفتي الجهة اللتين تؤول اليهما الجملة المعلومة تكونان متساويتين في المقدار فتكوّنان ازدواجاً وقد يتأتى أن تكونا على استقامة واحدة ومتضادتين فتكون محصلتهما معدومة والقوى المفروضة متزنة

تنبيه — اذا غير اتجاه القوى المتوازية الواقعة فى جسم بمقدار واحد او غيرت مقاديرها بنسبة واحدة فان محصلتها تمر على الدوام بنقطة لا تتغير وانما اتجاهها يتبع

الاتجاه الجديد ومقدارها يتغير بالنسبة عنها ولذا سميت النقطة المذكورة — مركز القوى المتوازية

تنبيه — تطبق قاعدة العلاقات بين عزم المحصلة وعزوم المركبات بالنسبة لنقطة ولمحور على القوى المتوازية اذ ان هذه الاخيرة ليست الا الحد النهائي الذى تأخذه قوى متقابلة تبعد نقطة تقابلها بعداً لا نهاية له

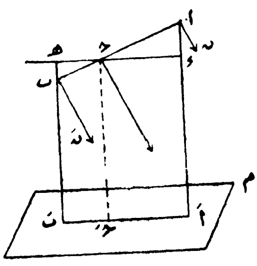
(٤٥) نظرية عزوم القوى المتوازية بالنسبة لمستو موازٍ لها — عزم قوة بالنسبة لمستو موازٍ لها هو حاصل ضرب شدتها فى بعدها عنه — فعزم القوة ن بالنسبة للمستوى الموازى لها م هو ن × ا اَ



ش ( ٣٠ )

ولتعميم نظرية عزوم القوى المتوازية بالنسبة لمستو تعتبر القوى المتحدة الجهة مع المحصلة موجبة والقوى التى فى جهة مضادة لها سالبة وعند ما يكون المستوى بين القوى تعتبر بعاد القوى عنه موجبة أو سالبة حسبما تكون فى احدى جهتيه أو فى الاخرى فاذا فرضنا أن ن ٥ نَ قوتان متوازيتان متحدتا الجهة واقعتان فى نقطتين ا ٥ ب كانت محصلتهما تساوى ن + نَ وواقعة فى نقطة حـ تقسم الخط اب الى قسمين مرتبطين بالمتساوية الآتية

$$\frac{\text{ا حـ}}{\text{حـ ب}} = \frac{\text{نَ}}{\text{ن}}$$



ش (٣١)

وكان عزم المحصلة بالنسبة للمستوى م هو (ن + نَ) حـ حـَ وعزما المركبتين ن ٥ نَ بالنسبة للمستوى المذكور ن × ا اَ ٥ نَ × ب بَ

فاذا رسمنا من نقطة حـ خطاً يوازى اَ بَ ينتج

$$\frac{\text{ا ء}}{\text{هـ ب}} = \frac{\text{ا حـ}}{\text{حـ ب}} = \frac{\text{نَ}}{\text{ن}}$$ أو

ق × ا د = ق′ × هـ ب    أو

ق ( ا ا′ — حـ حـ′ ) = ق′ ( حـ حـ′ — ب ب′ )    أو

ق × ا ا′ — ق × حـ حـ′ = ق′ × حـ حـ′ — ق′ × ب ب′    أو

ق × ا ا′ + ق′ × ب ب′ = ( ق + ق′ ) حـ حـ′    (١)

أعنى ان عزم المحصلة بالنسبة للمستوى م يساوى مجموع عزمي المركبتين

أما اذا كانت القوتان ق و ق′ مختلفتى الجهة فيثبت بطريقة شبيهة بالسابقة ان عزم المحصلة يساوى الفرق بين عزمى المركبتين وبما ان عزم احدى المركبتين يكون فى هذه الحالة سالباً يرى انه يمكن حصر النظريتين فى نظرية واحدة وهى ان عزم محصلة قوتين متوازيتين بالنسبة لمستو يكون فى كلتا الحالتين مساوياً للمجموع الجبرى لعزميهما بالنسبة للمستوى المذكور

وهذه النظرية عامة مهما كان وضع المستوى بالنسبة للقوتين فاذا حركنا المستوى م بالتوازى لوضعه الاول من أعلى الى أسفل بمقدار ل وجب اضافة ق × ل و ق′ × ل لعزمى القوتين و ( ق + ق′ ) ل لعزم المحصلة وبذا يبقى طرفا المتساوية متساويين واذا حركناه من أسفل الى أعلى وجب الطرح عوضاً عن الاضافة

وعند ما يصل المستوى الى نقطة ب يكون عزم ق′ معدوماً وعزم ق يساوى عزم المحصلة واذا تعدى المستوى النقطة ب بقدر ل يلاحظ انه يجب اضافة ق′ ل الى عزم القوة ق′ وطرح ق ل من عزم القوة ق و بما ان عزم ق′ يكون حينئذاك سالباً يرى انه يجب طرح ق ل و ق′ ل من عزمى ق و ق′ على التناظر كما انه يجب طرح ( ق + ق′ ) ل من عزم المحصلة و بذا يكون عزم المحصلة فى هذه الحالة أيضاً مساوياً للمجموع الجبرى لعزمى المركبتين أى ان نظرية عزوم القوى بالنسبة لمستو مواز لها عامة

ومن السهل البرهنة ان النظرية السابقة تسرى على عدد أياً كان من القوى المتوازية الواقعة فى جسم

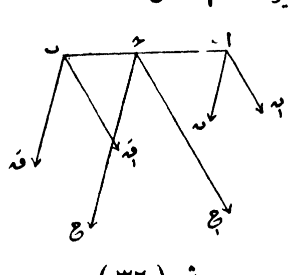
(٤٦) نظرية عزوم القوى بالنسبة لمستو أياً كان    عزم قوة بالنسبة لمستو أياً كان هو حاصل ضرب شدتها فى بعد نقطة تأثيرها عنه

ومن السهل البرهنة على ان نظرية عزوم القوى بالنسبة لمستو مواز لها تسرى أيضاً على عزومها بالنسبة لمستو حيثما كان ولذلك نفرض دوران القوى المذكورة ومحصلتها حول نقط تأثيرها حتى تصير موازية للمستوى و بما ان هذا الدوران لا ينشأ عنه أقل تغيير فى ابعاد نقط تأثيرها عن المستوى ينتج ان عزم كل منها قبل الدوران يساوى عزمها بعده أى ان عزم المحصلة قبل الدوران يساوى المجموع الجبرى لعزوم المركبات

(٤٧) مركز القوى المتوازية — ذكرنا فيما مضى انه اذا غير اتجاه القوى المتوازية الواقعة فى جسم بمقدار واحد أو غيرت مقاديرها بنسبة واحدة فان موضع نقطة تأثير محصلتها المسماة مركز القوى المتوازية لا يتغير

ولاثبات هذه النظرية نفرض مبدئياً ان نقطة تأثير محصلة قوتين متوازيتين هى النقطة التى تقابل فيها المحصلة الخط الواصل بين نقطتى تأثير القوتين اذ انه من الممكن فرض نقطة تأثير أية قوة فى نقطة اية كانت على اتجاهها فاذا فرضنا ان ق ، قَ قوتان متوازيتان واقعتان فى نقطتين ا ، ب وان ح نقطة تأثير محصلتهما كان

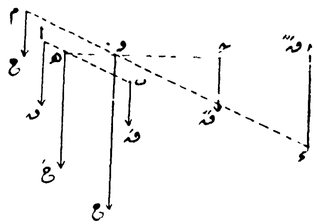
$$\frac{\text{اح}}{\text{حب}} = \frac{\text{قَ}}{\text{ق}}$$



ش ( ٣٢ )

أعنى ان نقطة ح لا تتعلق الا بالنسبة $\frac{\text{قَ}}{\text{ق}}$ فمادامت القوتان ق ، قَ متوازيتين والنسبة بينهما لا تتغير فنقطة ح أى نقطة تأثير محصلتهما لا تتغير أيضاً ومن الواضح ان مقدار المحصلة يتغير بعين النسبة التى يتغير

بها مقدار كل من القوتين اذ انها تساوى مجموع القوتين واذا فرضنا الآن عدة قوى ى ى ىَ ى ىً ى هلم جراً واقعة فى النقط ا ت ى ح ى ء من جسم صلب فلتحصيلها نحصل أولاً الواقعة منها فى جهة واحدة وهى ى ى ىَ ى ىً ولنكن عَ محصلة القوتين ى ى ىَ ى عً محصلة القوتين عَ ، ىً أى محصلة الثلاث القوى فنقطة تأثير عَ وهى ه لا تتعلق بناء على ما سبق الا بالنسبة بين القوتين ى ى ىَ وكذلك نقطة تأثير عً وهى ء لا تتعلق الا بالنسبة بين ىً ى عَ أى بالنسبة بين ىً ى ( ى +ىَ )

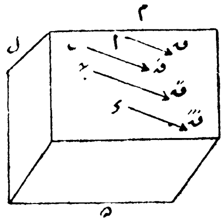



ش ( ٤٣ )

وبتحصيل القوى الواقعة فى الجهة الاخرى نصل للنتيجة عينها بالنسبة لنقطة تأثير محصلتها ىٌ وهى ء وبتحصيل القوتين ىٌ ى عً وفرض ان محصلتهما ع ينتج أن نقطة تأثير المحصلة المذكورة وهى م لا تتعلق الا بالنسبة بين ىٌ ، عً

ولنفرض الآن أن جميع القوى المتوازية دارت حول نقط تأثيرها بمقدار واحد أو تغيرت شداتها بنسبة واحدة فينتج بناء على ما سبق ان نقط تأثير محصلاتها الجزئية لا تتغير ويتبع ذلك نقطة تأثير محصلتها الكلية وهى م فلا تتغير

(٤٨) تعيين موقع مركز القوى المتوازية بطريقة التحليل — يختار لذلك ثلاثة مستويات حيثما اتفق بشرط الا تتقاطع في خطين متوازيين وتنتخب عادة المستويات المذكورة بحيث يكون كل اثنين منها متعامدين ثم يعين مركز القوى المتوازية بتعيين ابعاده الثلاثة عن المستويات المذكورة




ش (٣٤)

فاذا فرضنا عدة قوى متوازية ن ، نَ ، نً ، نٌ ، هلم جراً وكانت ابعاد نقط تأثيرها عن المستوى م تساوى على التناظر هـ ، هـَ ، هـً ، هـٌ ، هلم جراً وفرضنا ان ع محصلة هذه القوى وان س بعد نقطة تأثيرها عن المستوى م كان بناء على ما سبق

$$\text{ع س} = (\text{ن} + \text{نَ} + \text{نً} + \text{نٌ} + \cdot\cdot)\,\text{س} = \text{ن هـ} + \text{نَ هـَ} + \text{نً هـً} + \text{نٌ هـٌ} + \cdot\cdot \quad \text{أو}$$

$$\text{س} = \frac{\text{ن هـ} + \text{نَ هـَ} + \text{نً هـً} + \text{نٌ هـٌ} + \cdot\cdot}{\text{ن} + \text{نَ} + \text{نً} + \text{نٌ} + \cdot\cdot}$$

ويعين بهذه الطريقة بعدا نقطة تأثير المحصلة ع وهما ص ، ع عن المستويين الآخرين ه ، ل فمركز القوى المتوازية يكون حينئذ فى نقطة تقاطع الثلاثة المستويات المرسومة موازية للثلاثة المستويات الاولى على ابعاد منها تساوى على التناظر س ، ص ، ع

واذا فرض ان القوى المتوازية البالغ عددها ه متساوية كان

$$\text{س} = \frac{\text{ن هـ} + \text{ن هـَ} + \text{ن هـً} + \text{ن هـٌ} + \cdot\cdot\cdot}{\text{ن} + \text{ن} + \text{ن} + \text{ن} + \cdot\cdot\cdot} = \frac{\text{ن}\,(\text{هـ} + \text{هـَ} + \text{هـً} + \cdot\cdot\cdot)}{\text{ه ن}}$$

$$= \frac{\text{هـ} + \text{هـَ} + \text{هـً} + \text{هـٌ} + \cdot\cdot\cdot}{\text{ه}}$$

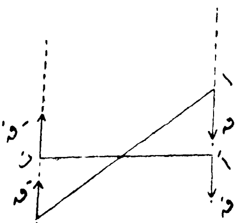
ويسمى مركز القوى المتوازية فى هذه الحالة مركز متوسط الابعاد لان بعد مركز القوى المتوازية عن كل من المستويات الثلاثة يساوى متوسط ابعاد نقط تأثير المركبات عنه

تنبيه اذا كانت نقط تأثير المركبات فى مستو واحد كان مركز القوى المتوازية في المستو المذكور فيكفي حينئذ لايجاده تعيين بعديه عن مستويين قاطعين للمستوى الاول فى خطين غير متوازيين

أما اذا كانت نقط تأثير المركبات على استقامة واحدة فيكون مركز القوى المتوازية على المستقيم الجامع لنقط تأثيرها فيكفى حينئذ لايجاده تعيين بعده عن مستو واحد قاطع للمستقيم المذكور ويختار عادة المستوى المذكور عموداً على المستقيم

(٤٩) الازدواج — ذكرنا فيما مضى أن الاجسام الواقع عليها ازدواج تتزن في الوضع الذى تكون فيه القوتان على اتجاه واحد ومختلفتي الجهة أى فى الوضع الذى يمحى فيه تأثير احدى القوتين تأثير القوة الاخرى

ذراع رافعة الازدواج — ذراع رافعة الازدواج هو أقرب بعد بين اتجاهي قوتيه فاذا فرضنا ازدواجاً (ت ، — ت) واقعاً فى نقطتين ا ، ب من جسم صلب فذراع رافعتـه هو العمود اَ بَ المشترك بين قوتيه ومن الواضح انه يمكن نقل نقطتي تأثير القوتين ت ، — ت على اتجاهيهما في النقطتين اَ ، بَ بدون أن يعترى نتيجة تأثيرها أدنى تغير وبذا يرى أنه يمكن تعويض أي ازدواج بآخر مساو له ونقطتا تأثير قوتيه على طرفي عمود واحد مشترك بينهما

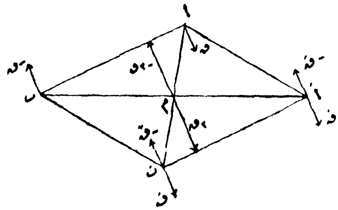



ش (٣٥)

وبناء على ذلك سنفرض فيما سيأتى أن كل ازدواج مؤثر في طرفى ذراع رافعته

نظرية — يمكن نقل أي ازدواج بالتوازي لوضعه أو ادارته في المستوي المار به حول نقطة ما بشرط أن يكون ذراع رافعته الجديد مرتبطاً بلا تغير بذراع

رافعته الاول — لاجل البرهنة على الجزء الاول من هذه النظرية نفرض انتقال ذراع الرافعة ا ب بالتوازى لوضعه الاول الى الوضع اَ بَ ثم نوجد فى اَ قوتين متضادتين

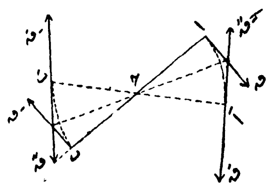


ن ً ٥ — نَ تساوى كل منهما القوة ن وتوازيها وفى بَ قوتين متضادتين نَ ٥ — ن ً تساوى كل منهما القوة — ن اي القوة ن وتوازيها فمن الواضح ان ادخال القوى الاربع المذكورة لا يترتب عليه أقل تغير

ش (٣٦)

فى نتيجة تأثير الازدواج (ن ٠ — ن) لان كل اثنتين منهما تتزنان وبما أن القوتين نَ ٥ — ن متوازيتان ومتحدتا الجهة تكون محصلتهما موازية لهما وتساوي مجموعهما أي — ٢ ن وواقعة فى نقطة م منصفة للخط اَ ب وتكون كذلك محصلة القوتين ن ٥ نَ مساوية ٢ ن وواقعة فى م ومضادة للقوة — ٢ ن وبذا تتزن معها ويبقى من جميع القوى القوتان ن ً ٥ — نَ أي الازدواج (ن ٠ — ن) منقولاً الى الوضع (ن ً ٠ — ن ً)

وللبرهنة على الجزء الثانى من النظرية أي انه يمكن ادارة الازدواج في مستويه بمقدار زاوية ما حول نقطة حـ نفرض أن النقطة المذكورة في منتصف ذراع رافعة الازدواج وهذا جائز اذ ثبت فى الجزء الاول من هذه النظرية امكان نقل الازدواج المذكور بالتوازي لوضعه الاول حتى يصير منتصف ذراع رافعته منطبقاً على النقطة المراد ادارته حولها فاذا فرضنا أن اَ بَ وضع ذراع الرافعة الجديد وأوقعنا فى ا

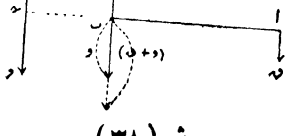


ش (٣٧)

قوتين متضادتين – نً ٥ نَ تساوي كل منهما القوة ن وعمودية على ا َ ـَ وأوقعنا كذلك فى ـَ قوتين – نَ ٥ نً تساوى كل منهما ن أيضاً وعمودية على اَ ـَ ثم حصلنا القوتين المتقابلتين ن ٥ – نً وكذلك القوتين المتقابلتين نً ٥ – ن كانت محصلة الاولين تساوي وفى اتجاه مضاد لمحصلة الاخرين وحيئذ تحدث احداهما مع الاخرى توازناً ويبقى من القوى الست القوتان نَ ٥ – ن أي الازدواج (ن ٠ – ن) محولاً الى الوضع (نَ ٠ – نَ)

(٥٠) عزم الازدواج – عزم الازدواج هو حاصل ضرب شدة احدى قوتيه فى ذراع رافعته فحاصل ضرب ن × ا ب يعين عزم الازدواج الذي شدة احدى قوتيه ن وذراع رافعته ا ب ويقدر كل ازدواج بعزمه اذ انه يمكن تعويض اى ازدواج بآخر فى مستويه أو فى مستو مواز لمستويه متى كان عزماهما متساويين

فاذا فرضنا ازدواجا (ن ٠ نَ) ذراع رافعته ا ب أمكن تعويضه بازدواج آخر ذراع رافعته ب حـ متى كان عزم هذا الاخير مساوياً لعزم الازدواج الاول



ش (٣٨)

وللبرهنة على ذلك نوقع فى النقطة حـ قوتين و ٥ – و متضادتين وموازيتين للازدواج بشرط أن تكون شدة كل منهما معينة بالارتباط الآتي

و × ب حـ = ن × ا ب

وينتج من هذه المتساوية أن

$$\frac{و}{ن} = \frac{ا ب}{ب م}$$

أى ان محصلة القوتين ن ، و المتوازيتين والمتحدتى الجهة واقعة فى نقطة ب وتساوى ( و + ن ) وبما ان المحصلة المذكورة والقوة نَ المساوية ن متضادتين فتؤولان الى قوة واحدة تساوى و مؤثرة فى ب أى انه يبقي من جميع القوى الازدواج ( و ، – و ) المساوى فى العزم للازدواج ( ن ، نَ ) ومن ذلك ينتج أن كل ازدواجين متحدى العزم متكافئان

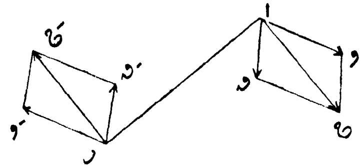
ويقدر عادة الازدواج بشدة احدى قوتى ازدواج آخر مساو له فى العزم وطول ذراع رافعته يساوى وحدة الاطوال

(٥١) تحصيل الازدواجات — اذا كان الازدواجان ( ن ، – ن ) ، ( و ، – و ) المراد تحصيلهما فى مستو واحد أو فى مستوين متوازيين يعوض أحدهما وليكن (و ، –و) بآخر ذراع رافعته يساوى ذراع رافعة الازدواج ( ن ، – ن ) ثم يطبق أحدهما على الآخر وتضم قوتا أحد الازدواجين الى نظيرتيهما من


ش ( ٣٩ )

الازدواج الآخر اذا كان الازدواجان متحدين فى الجهة أو تطرحان منهما اذا كانا مختلفين فيها ويكون فى الحالة الاولى عزم الازدواج الناتج يساوى مجموع عزمي الازدواجين وفى الحالة الثانية يساوى الفرق بينهما

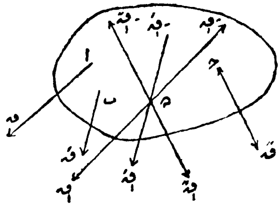
أما اذا كان الازدواجان فى مستويين غير متوازيين فيؤخذ على خط تقاطع المستويين المارين بهما بعد ا ب يساوى وحدة الاطوال ويعوض كل من الازدواجين بآخر فى



ش ( ٤٠ )

مستويه ومساو له فى العزم بشرط أن يكون ذراع رافعته ا ب فاذا فرض ان الازدواجين الناتجين هما ( ں ٠ ــ ں ) ٥ ( و ٠ ــ و ) كان الازدواج ( ع ٠ ــ ع ) المكون من محصلتى القوتين و ٥ ں والقوتين ــ و ٥ ــ ں هو الازدواج المطلوب

(٥٢) نتيجة تأثير عدة قوى حيثما كانت فى جسم صلب — اذا فرضت عدة قوى أياً كانت ں ٥ ںَ ٥ ںً ٥ ... الخ مؤثرة فى جسم صلب وواقعة فى النقط ا ٥ ب ٥ ح ٥ وهلم جراً منه وكان المراد معرفة ما يمكن تعويضها به من القوى نختار نقطه حيثما تكون من نقط الجسم ولتكن م ونوجد فيها قوتين ہ ٥ ــ ہ متضادتين وكل منهما تساوى وتوازى ں وبما ان ايجاد القوتين المذكورتين لا يترتب عليه أقل تغير فى نتيجة تأثير القوى المؤثرة فى الجسم يرى



ش ( ٤١ )

انه يمكن تعويض القوة ں بقوة ہ وازدواج ( ں ٠ ــ ہ ) يمر كل منهما بنقطة م

ويستنتج بالطريقة عينها انه يمكن تعويض كل من القوى الاخرى ںَ ٥ ںً ٥ وهلم جراً بقوة وازدواج يمر كل منهما بنقطة م أيضاً ومن حيث ان جميع القوى ہ ٥ ہَ ٥ ہً ٥ وهلم جراً واقعة فى نقطة واحدة م فيمكن تعويضها بقوة واحدة تعمل عملها وهى محصلتها وكذلك يمكن تحصيل الازدواجات ( ں ٠ ــ ہ ) ٥ ( ںَ ٠ ــ ہَ ) ٥ ( ںً ــ ہً ) وتعويضها بازدواج واحد أعنى انه يمكن تعويض جميع القوى المؤثرة فى جسم صلب مهما كانت اتجاهاتها وشداتها بقوة وازدواج يعملان عملها

نتائج عمومية — ينتج من جميع ما سبق انه اذا أثرت عدة قوى فى جسم فنتيجة تأثيرها لا تخرج عن الحالات الاربع الآتية

أولاً — تكون لها محصلة ويكون ذلك عند ما تكون متقابلة فى نقطة واحدة أو متوازية

ثانياً — يحدث بعضها مع بعض توازناً ويكون ذلك اذا كانت احداها مساوية وفى اتجاه مضاد لمحصلة الاخرى

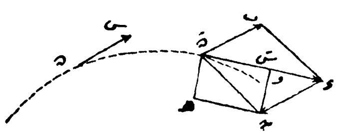
ثالثاً — تعويضها بازدواج

رابعاً — تعويضها بقوة وازدواج

## الحركات المنحنية

(٥٣) العجلة فى الحركات المنحنية — اذا كان خط سير الحركة منحنياً فاتجاه الحركة فى وقت ما يكون عين اتجاه المماس للمنحنى المرسوم من موضع المتحرك فى الوقت المذكور

فاذا فرضنا حركة منحنية قانونها أياً كان وان سرعة المتحرك وهو فى ن تساوى س وسرعته وهو فى نَ تساوى سَ فلايجاد مقدار تغير السرعة نرسم كما سبق بيانه من نَ مستقيماً يساوى ويوازى ن س



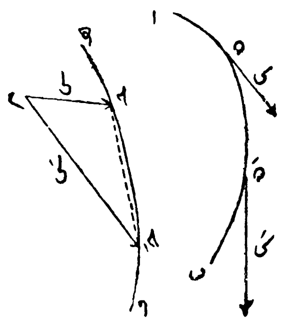
ش (٤٢)

ونكمل متوازى الاضلاع نَ ب ء هـ فيكون نَ هـ دالا مقداراً واتجاهاً على تغير السرعة فاذا رمزنا بالحرف ر للحظة التى كان فيها المتحرك فى الموضع ن وبالحرف رَ للحظة التى كان فيها فى الموضع نَ كان $\frac{\text{نَ هـ}}{\text{رَ} - \text{ر}}$ دالاً على متوسط تغير السرعة فى الزمن رَ — ر

أى العجلة المتوسطة فى الزمن المذكور وكانت نهاية هذه النسبة حين يميل ر َ ــ ر الى الصفر العجلة فى الوقت ر

واذا حللنا مقدار تغير السرعة ن َ ﻫ الى سرعتين احداهما ن َ د فى اتجاه المماس ن َ ى وثانيتهما ن َ ه فى الاتجاه العمودى على المماس سميت الاولى تغير السرعة فى اتجاه المماس والثانية تغير السرعة فى اتجاه العمود وكان $\frac{ن َ د}{ر َ ــ ر}$ دالاً على تغير السرعة المتوسطة أى العجلة المتوسطة فى اتجاه المماس و $\frac{ن َ ه}{ر َ ــ ر}$ دالا على العجلة المتوسطة فى اتجاه العمود واذا مال ر َ ــ ر الى الصفر كانت النهاية التى تميل اليها النسبة الاولى العجلة المماسة فى الوقت ر والنهاية التى تميل اليها النسبة الثانية العجلة العمودية فى الوقت المذكور

ومن الممكن ارجاع تعريف العجلات الى تعريف السرع ولذلك نفرض حركة حيثما كانت على الخط المنحنى ا ب ثم نفرض نقطة م فى الفضاء ونمد منها مستقيماً م ﻫ يساوى ويوازى سرعة المتحرك وهو فى أحد اوضاعه وليكن ن ونفرض أن نقطة ﻫ تتحرك اثناء حركة نقطة ن بشرط أن يبقى على الدوام م ﻫ مساوياً وموازياً الى سرعة النقطة ن فالخط المنحنى ﻫ د الذي ترسمه النقطة المذكورة يسمى دليل الحركة على الخط ا ب فاذا فرضنا الان نقطتين



ش ( ٤٣ )

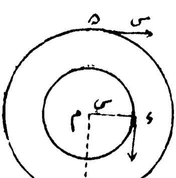
ن و ن َ قريبتين بعضهما من بعض على خط سير الحركة ورسمنا من نقطة م مستقيمين م ﻫ و م ﻫ َ يساويان ويوازيان على التناظر سرعتى المتحرك س و س َ وهو فى الموضعين ن و ن َ كانت النقطتان ﻫ و ﻫ َ على دليل الحركة وكان الخط ﻫ ﻫ َ معيناً مقدار واتجاه تغير سرعة المتحرك بانتقاله من ن الى ن َ فاذا رمزنا بالحرف ر للخطة التى كان فيها

المتحرك فى الوضع ن وبالرمز ز َ للحظة التى كان فيها فى الوضع ن َ كان $\frac{ع ع َ}{ز َ - ز}$ دالا على المجلة المتوسطة لنقطة ن على المنحنى ن ن َ وكانت نهاية هذه النسبة حين يميل ز َ - ز الى الصفر دالة على عجلة المتحرك ن فى الوقت ز وبما أن النسبة سالفة الذكر تعين سرعة ع المتوسطة على القوس ع ع َ والنهاية التى تميل اليها حين يميل ز َ — ز الى الصفر تدل على سرعة ع وهى فى الوضع ع ينتج

ان سرعة ع على المنحنى ع ع َ تعين مقداراً واتجاهاً عجلة المتحرك وهو فى الوضع ن

(٥٤) العجلة فى الحركة الدائرية المنتظمة والقوة المركزية الجاذبة — ذكرنا فيما مضى ان كل تحرك لايدخل فيه تأثير قوة يكون مستقيماً ومنتظماً وبناء على ذلك فلا بد أن تكون كل حركة منحنية ناتجة من تأثير قوة أو عدة قوى واذا كانت الحركة المنحنية منتظمة كانت القوة فى كل لحظة عمودية على اتجاه الحركة لانها اذا كانت فى اتجاه آخر امكن تحليلها الى اثنتين احداهما فى اتجاه المماس والاخرى في الاتجاه العمودى عليه ومتى وجدت قوة في اتجاه المماس وجب تغير السرعة وكل حركة متغيرة منحنية تنشأ من تأثير قوتين احداهما في اتجاه المماس والاخرى في اتجاه عمودى عليه

ولنفرض الا ن متحركا ن يتحرك حركة منتظمة على محيط دائرة نصف قطرها ر بسرعة س فلايجاد عجلته في وقت ما نرسم دليل الحركة بالطريقة السابقة وذلك بأن نرسم من م مستقيما م ء يساوى ويوازى س فالمحل الهندسى لنقطة ء أى دليل الحركة يكون محيط دائرة نصف قطرها يساوي س تقطعه نقطة ء في الزمن الذى يقطع فيه المتحرك ن محيط دائرته وتكون عجلة المتحرك ن في كل لحظة تساوى سرعة ء وفى اتجاهها وبما أن سرعة ء تكون على الدوام عمودية على س ينتج أن اتجاه العجلة في كل حركة دائرية منتظمة يكون على الدوام في اتجاه




ش (٤٤)

نصف قطر الدائرة

وبما ان نقطتى ﻫ ه د تقطعان محيطي دائرتيهما في زمن واحد ينتج ان سرعتيهما مناسبتان لنصفي قطرى الدائرتين أي ان

$$\frac{س}{ع} = \frac{ں}{س} \quad \text{ومن ذلك ينتج}$$

$$ع = \frac{س^{٢}}{ں} \qquad (١)$$

أى ان العجلة تساوي مربع السرعة مقسوماً على نصف القطر واتجاهها في اتجاهه

ويمكن وضع القانون ( ١ ) بصورة أخرى

فاذا رمزنا بالحرف ر للزمن الذى يستغرقه المتحرك لقطع محيط دائرته مرة واحدة كان

$$س \times ر = ٢ ط ں \quad \text{أو}$$

$$س = \frac{٢ ط ں}{ر}$$

وبتربيع طرفي المتساوية ينتج

$$س^{٢} = \frac{٤ ط^{٢} ں^{٢}}{ر^{٢}} \quad \text{أو}$$

$$\frac{س^{٢}}{ں} = \frac{٤ ط^{٢} ں}{ر^{٢}} = ع$$

واذا رمزنا بالحرف و للسرعة الزاوية لنقطة ﻫ كان

$$ع = و^{٢} ں$$

وبناء على ذلك يرى أن القوة اللازمة لاحداث الحركة الدائرية المنتظمة يجب أن

تكون في مركز الدائرة المرسومة أما مقدارها فيكون مبيناً باحدى المتساويتين الاتيتين

$$\text{ن} = \text{ك}\,\frac{\text{س}^{٢}}{\text{ق}} \quad ، \quad \text{ن} = \text{ك} \times \text{و}^{٢}\,\text{ق}$$

على فرض ان ك كتلة النقطة المادية المتحركة وتسمى كل قوة تؤثر بالصورة السابقة قوة مركزية جاذبة

ومن الممكن احداث القوة المركزية الجاذبة أى القوة التى تسبب عجلة عمودية لجسم ما بطرق كثيرة

فمن الممكن مثلاً أن يربط الجسم بخيط مثبت فى نقطة مايدار الجسم حولها (المقلاع)

ومن الممكن أيضاً أن يحدث هذه القوة ضغط جسم دائرى يضطر الجسم المتحرك بواسطته للسير فى منحن فعنـد ما يسير قطار السكة الحديدية مثلا على منحن تضغط القضبان على شفو عجلاته وتدفع القطار جهة مركز المنحنى ويمكن أن تكون هذه القوة طبيعية كما هي الحالة بين الشمس والارض اذ أن جاذبيتهما هى التى تجعل الارض تدور فى منحن حول الشمس

(٥٥) القوة المركزية الطاردة — ينتج بناء على قاعدة تساوى الفعل ورد الفعل أن وجود القوة المركزية الجاذبة يولد قوة أخرى مساوية لها في المقدار ومضادة لها في الاتجاه فاذا ربط انسان جسماً بطرف خيط ومسك الخيط من طرفه الا خر ثم أداره حول يده فان تأثير الخيط يولد القوة اللازمة أن تؤثر فى الجسم لتحدث فيـه العجلة العمودية لـكن بمقتضى قانون تساوى الفعل ورد الفعل يحدث الخيط على يد الانسان قوة أخرى تساوى القوة الاولى ومضادة لها فى الاتجاه اذ يخال للانسان ان الجسم يحاول أن يبارح يده ولهذا السبب سميت القوة المساوية والمضادة لاتجاه القوة المركزية الجاذبة بالقوة المركزية الطاردة

## في شغل القوى

(٥٦) تعريف الشغل — من الواضح أن تأثير القوة لا يكون مفيدا الا اذا أحدث انتقالا فى نقطة تأثيرها فالآلات المستعملة فى الصناعة لا تحصل منها الفائدة المطلوبة الا اذا تحركت والفائدة التى تنتج من عمل قوة لا تتعلق بشدتها فقط بل تتعلق أيضا بمقدار الانتقال الذى تولده فى نقطة تأثيرها كما أن هذا الاخير يتعلق بالمقاومة التي يصادفها الجسم المؤثرة فيه القوة أثناء تحركه

فاذا أراد شخص مثلا رفع جسم وزنه و في الاتجاه الرأسي الى ارتفاع قدره ى رفعا منتظما فانه يلاحظ أولا أن القوة ں اللازم استعمالهـا تكون مساوية الوزن و بسبب انتظام الحركة ثانيا أن العمل النـاتج يكون مناسبا لحاصل ضرب ں × ى لانه اذا كبر الوزن و عن أصله ه مرة فالعمل الحادث يكبر عن أصله ه مرة كذا اذا كبر الارتفاع ى عن أصله هَ مرة يرى أن العمل الحادث يكبر كذلك عن أصله هَ مرة فحينئذ يكون العمل مناسبا الى و × ى او ں × ى

وحاصل الضرب ں × ى للقوة ں في المسافة ى المقطوعة بنقطة التأثير في اتجاه هذه القوة هو ما يسمى بشغل القوة

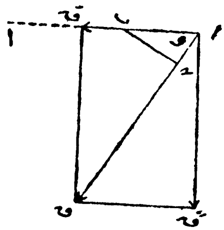
وبما أن جذب الارض و يكون واقعا فى الجسم أيضا أثناء صعوده ينتج عنـه شغل يسمى شغلا مقاوما اذ أن حركة الجسم تكون في اتجاه مضاد لتأثير القوة ويعتبر الشغل المحرك موجبا والشغل المقاوم سالبا فاذا رمزنا بالحرف ش للشغل المحرك وبالحرف شَ للشغل المقاوم كان بناء على ماسبق

ش = ᵕ × ء

شَ = − ᵕ × ء

يعني أنه اذا أحدثت قوة حركة انتقال منتظمه في جسم تصادفه مقاومة كان الشغل المحرك يساوى وفي اتجاه مضاد للشغل المقاوم أى ان المجموع الجبرى للشغلين المحرك والمقاوم يكون معدوما

(٥٧) شغل قوة ثابتة في المقدار والاتجاه — أولا — اذا كانت نقطة تأثير القوة تتحرك على اتجاهها كان مقدار الشغل بناء على التعريف السابق مساويا لحاصل ضرب شدة القوة في مقدار انتقال نقطة تأثيرها ويكون الشغل الناتج موجبا اذا انتقلت نقطة التأثير على اتجاه القوة وسالبا اذا انتقلت على اتجاه مضاد له



ش (٤٥)

ثانيا — اذا كانت القوة ᵕ تحرك نقطة تأثيرها بمقدار ا ب = ء في اتجاه مخالف لاتجاه القوة فلايجاد مقدار الشغل الناتج تحلل القوة ᵕ الى قوتين احداهما ᵕَ في اتجاه الانتقال والاخرى ᵕً في اتجاه عمودى عليه ومعلوم انه لا يكون للقوة ᵕً أقل تأثير على الحركة والدليل على ذلك انها لو أثرت بمفردها على نقطة ا لما أحدثت فيها حركة وذلك لكون النقطة ا لا تتحرك الا فى الاتجاه ا ب العمودى على اتجاه القوة المذكورة فينتج من ذلك أن القوة المحدثة للانتقال تكون القوة ᵕَ بمفردها ويكون بناء على ما سبق

ش = ᵕَ × ء = ᵕ جتا و × ء

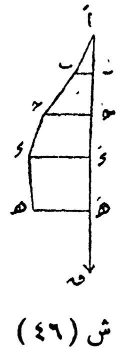
أى ان الشغل الناتج يساوى مقدار الانتقال مضروباً في مسقط القوة على اتجاهه

أو حاصل ضرب القوة في مقدار الانتقال فى جيب تمام الزاوية المحصورة بين اتجاهيهما وبما أن جتا و × ء = ا ھ ينتج أن

ش = ق × ا ھ

أى ان الشغل الناتج يساوى حاصل ضرب القوة في مسقط الانتقال على اتجاهها والشغل الناتج يكون فى هذه الحالة محركاً اذا كانت زاوية و حادة ومقاوماً اذا كانت منفرجة

تنبيه — اذا كانت زاوية و = ٩٠° كان الشغل الناتج يساوى صفراً بمعنى انه اذا كانت حركة الانتقال عمودية على اتجاه القوة كان مقدار الشغل الناتج من تأثيرها معدوماً وهذا أمر واضح فاذا أردنا مثلاً تحريك جسم ثقيل على سطح أفقى فالمقاومة اللازم قهرها لاحداث هذا التحرك لا تكون عبارة عن وزن الجسم بل تكون مساوية فقط لمقدار الاحتكاك الذى يتولد بينه وبين السطح فاذا كانت قضبان سكة حديدية وعرباتها متقنة الصنع كانت القوة اللازمة لتحريك عربة مشحونة تساوى تقريباً أربعة كيلوجرامات نظير كل الف كيلوجرام من وزنها



ثالثاً — اذا كانت نقطة تأثير القوة تنتقل على خط منكسر كالخط ا ب ح ء ه فباسقط اجزائه المستقيمة المتتالية على اتجاه القوة تكون الاشغال الجزئية مبينة على التناظر بالمقادير

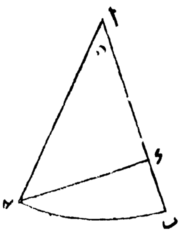
ق × ا َ ب َ ، ق × ب َ ح َ ، ق × ح َ ء َ ، وهلم جراً

وحينئذ يكون الشغل الكلي يساوى ق × ا َ ه َ أى حاصل ضرب القوة في مسقط انتقال نقطة تأثيرها على اتجاه القوة

ش (٤٦)

وتسرى هذه القاعدة اذا كانت نقطة تأثير القوة تنتقل على خط منحن لان الخطوط المنحنية لا تخرج عن كونها خطوطاً منكسرة اجزاؤها المتتالية صغيرة جداً فعند انتقال بندول مثلاً من الوضع ح الى الوضع ب يكون مقدار الشغل

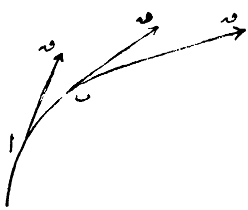
الناتج مساوياً لحاصل ضرب وزنه في ء ب أي مساوياً للشغل الذى يتولد اذا سقط الجسم المكون منه البندول في الاتجاه الرأس من ء الى ب ويستنتج من ذلك ان الشغل الذي يتولد عند انتقال جسم من نقطة الى اخرى لا يتغير مهما تغير الطريق الذي يتبعه فاذا اريد مثلا نقل جسم من نقطة أية كانت من مستو أفقي الى اخرى من مستو أفقي آخر كان مقدار الشغل اللازم لاحداث هذا الانتقال ( بصرف النظر عن الاحتكاك ) يساوي في جميع الاحوال لمقدار الشغل اللازم لنقل الجسم على اتجاه المسافة الرأسية بين المستويين



ش ( ١٤ )

(٥٨) شغل قوة ثابتة المقدار ومتغيرة الاتجاه — اذا كانت نقطة تأثير القوة ٯ ترسم خطاً منحنياً وكانت القوة ثابته المقدار واتجاهها على الدوام مماساً لمنحنى الانتقال فلتقدير الشغل يقسم المنحني المذكور الى اجزاء صغيرة بحيث يمكن اعتبارها كاجزاء مستقيمة نرمز لها بالرموز ﻫ ، ﻫَ ، ﻫً الخ فيكون الشغل الكلي ش بناء على ما سبق

ش = ٯ × ﻫ حتا و + ٯ ﻫَ حتا و + ٯ ﻫً حتا و + ...



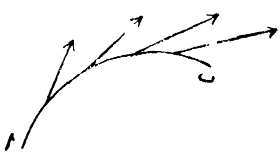
ش ( ١٥ )

وبما أن زاوية و تساوي في هذه الحاله صفراً ينتج أن

ش = ٯ ( ﻫ + ﻫَ + ﻫً + ... الخ )

اعنى أن الشغل يقدر بحاصل ضرب القوة في طول القوس الذي ترسمه نقطة تأثيرها

(٥٩) شغل قوة متغيرة المقدار والاتجاه — اذا فرض أن ا ب هو المنحني المرسوم بنقطة تأثير القوة المتغيرة نقسمه الى اجزاء صغيرة جداً ﻫ ، ﻫَ ، ﻫً ، الخ

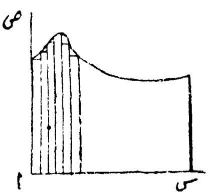


ش ( ١٦ )

بحيث يمكن اعتبارها كاجزاء مستقيمة وعند ما يقطع المتحرك كلا منها تعتبر القوة كانها ثابتة الشدة والاتجاه ثم نفرض أن ن ، نَ ، نً . . . الخ هي المقادير المتتالية للقوة المفروضة وان الزوايا التي تصنعها مع المماس في نقطه المختلفه هي و ، وَ ، وً . . . الخ فينتج ان الشغل ش

ش = ن × ه حتا و × نَ × هَ حتا وَ + نً × هً حتا وً + .الخ

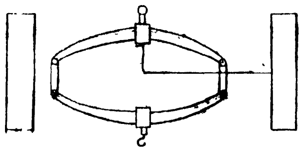
ومن الممكن تعيين مقدار هذا الشغل بطريقة الرسم ولاجل ذلك يرسم محوران متعامدان اس ، اص وتؤخذ على اس اطوال تساوي على التوالي ه جتا و ، هَ حتا وَ ، هً حتا وً ، . . . الخ ثم تؤخذ على الاعمدة المقامة من نقط التقاسيم اطوال تساوي على التوالي ن ، نَ ، نً ، . . . الخ فمساحات المستطيلات الناتجة تعين على التوالي الاشغال الجزئية المتولدة بالقوة المتغيرة




ش ( ٤٧ )

على اجزاء المنحني ه ، هَ ، هً ، . . . الخ ولايجاد مقدار الشغل الكلي بدون خطأ محسوس نفرض ان المسافات ه ، هَ ، هً ، . . . ، الخ تصغر الى ما لا نهاية فيميل حينئذ مجموع اسطح المستطيلات المعينة للاشغال الجزئية الى السطح المحصور بين المنحنى الجامع لرؤوسها العليا وبين المحور الافقى ثم بين المحورين الرأسيين المتطرفين ويمكن في بعض الاحيان استعمال الالة المحدثة للشغل لتقديره فاذا أريد مثلا تعيين الشغل المتولد من قاطرة اثناء سيرها مدة معينة يثبت بينها وبين العربات دينامومتر ذو شريطين يشبه دينامومتر پونسلي فمن الواضح أن زيادة تفرطح الشريطين تكون مناسبة للقوة المؤثرة أى لقوة القاطرة ولبيان مقدار هذه القوة في كل لحظة من لحظات تحرك القطار يثبت في منتصف أحد الشريطين قلم طرفه الراسم يتكئ اتكاء خفيفاً على اسطوانة

ملتف عليها شريط من الورق ينبسط من عليها ليلتف على اسطوانة أخرى تدور حول محورها فبتغير قوة القاطرة يتغير بعد شريطي الديناموتر ويتغير تبعاً لذلك موضع سن القلم على الاسطوانة فيرسم حينئذ على سطحها خطاً منحنياً يعين مقدار القوة في الازمنة المختلفة ولتعيين مقدار



ش ( ٤٨ )

الشغل يجب أن تكون حركة دوران الاسطوانتين مناسبة لسرعة القطار ويتوصل لذلك بنقل حركة دوران عجلات القاطرة الى الاسطوانتين باستعمال اطارات مسننة معشقة

وحدة الشغل — اذا فرض في القانون ش = ى ء أن ى = ١ ، ء = ١

ينتج أن ش = ١

ومن ذلك يستنتج تعريف وحدة الشغل

(٦٠) وحدة الشغل - هي الشغل الناتج من قوة تساوى وحدة القوى عند ما تنقل نقطة تأثيرها على اتجاهها بمقدار يساوى وحدة الاطوال

فتكون حينئذ وحدة الشغل في مجموعة س م ث هي الشغل الذي يولده داين عند ما ينتقل نقطة تأثيره على اتجاهه سنتيمتراً وقد سميت هذه الوحدة ارجا وتستعمل في كثير من الاحوال وحدتان اخريان للشغل نظراً لصغر الارج احداهما تسمى ميجرجا وهي تساوى مليون أرج والثانية چولا وهي تساوي عشرة أمثال الميجرج وتستعمل غالباً في الصناعة الى الآن وحدة أخرى للشغل تسمى كيلوجرامتراً وهي عبارة عن الشغل الناتج من قوة تساوي وزن كيلوجرام عند ما تنقل نقطة تأثيرها على اتجاهها متراً وهي تدل على الشغل اللازم عمله لرفع كيلوجرام الى ارتفاع يساوى متراً

والكيلوجرامتر يساوى في مدينة القاهرة ٩١٢و٩٧ ميجرجا أو ٧٩١٢ر٩ چولا أى ان الچول يساوى تقريباً عشر الكيلوجرامتر

(٦١) انتقال الشغل في الآلات — يدخل في كل آلة اجزاء قابلة للحركة يؤثر عليها نوعان من القوى

اولا — القوة المحركة وهي قوة تقع على بعض الاجزاء القابلة للحركة من الالة فتحركها جميعاً وتحدث ما يسمى بالشغل المحرك

ثانياً — القوى المقاومة وهي قوى عرضية تختلف شدتها واتجاهها ونقط تأثيرها عن شدة واتجاه ونقط تأثير القوة المحركة ومنها يتولد الشغل المقاوم وهو الشغل المفيد

ففي قطر السكك الحديدية مثلا تؤثر قوة البخار في المكبس فتولد فيه حركة تنتقل الى عجل القاطرة وعجل العربات وتنتج الشغل المحرك واما احتكاك العجل بالقضبان وبالدناجل ومقاومة الهواء فتنتج الشغل المقاوم

ولكل آلة محركة خاصتان مهمتان وهما

اولا — يمكن في كل آلة ( نظريا ) استعمال أي قوة مهما صغرت لقهر أية مقاومة مهما كبرت أعني أن الالات تصلح لزيادة عمل القوى

ثانياً — في كل آلة متحركة حركة منتظمة يكون الشغل المحرك مساويا للشغل المقاوم أعني انما يستفاد من زيادة عمل القوة يضيع نظيره بزيادة المسافة المقطوعة

وان لم تكن الالة متحركة حركة منتظمة فاذا زادت سرعتها بين لحظتين معينتين كان الشغل المحرك في الزمن الفاصل للحظتين المذكورتين اعظم من الشغل المقاوم واذا نقصت كان الشغل المقاوم اعظم من الشغل المحرك وسنرى فيما سيأتي أن مقدار زيادة الشغل المحرك عن الشغل المقاوم عند ما تكون سرعة المتحرك آخذة في الزيادة لا تضيع هباء بل تبقى محفوظة على حالة الكمون في المتحرك لاحداث شغل مساو للزيادة المذكورة في وقت ما

## القــدرة

(٦٢) تعريفها ووحدتها — من الواضح انه يمكن الوقوف على قيمة آلة بتعيين مقدار الشغل الذي تتمه في زمن معين فاذا زاد مقدار الشغل الذى تحدثه آلة في زمن ما عن مقدار الشغل الذي تحدثه اخري في الزمن نفسه كانت قدرة الاولى اعظم من قدرة الثانية وتعرّف قدره الآلة بمقدار الشغل الذي تحدثه في وحدة الزمن

ووحدة القدرة المصطلح عليها في المجموعة س ٠ ص ٠ ث هي قدرة آلة تحدث شغلا يساوى ارجا في ثانية وتستعمل عادة وحدة أخرى نظراً لصغر الوحدة العلمية السالفة الذكر اطلق عليها اسم وات وهى تساوي الوحدة الاولى عشرة ملايين مرة اعنى أن الوات عبارة عن قدرة آلة تحدث شغلا يساوى چولا في ثانية وتقدر قــدرة الآلات القوية جداً باستعمال مضاعفات الوات وهى الهكتووات وهو يساوى ١٠٠ وات والكيلووات وهو يساوى ١٠٠٠ وات

وتستعمل غالباً في الصناعة الى الآن الوحدة التى كانت مستعملة قديماً وهي الحصان البخارى وهي قدره آلة تحدث شغلا يساوى ٧٥ كيلو جرامترا فى الثانية

والحصان البخارى يساوى في مدينة القاهرة ٧٣٤ر٣٤٠ من الوات

تنبيه — في لغة ارباب الصناعة تستعمل بكثرة كلمة قوة في معنى القدرة

## الطاقة

(٦٣) تعريف — يقال ان للجسم طاقة اذا كان قادراً على احداث شغل وللطاقة نوعان طاقة الحركة وتسمى الطاقة الحالية وطاقة الوضع وتسمى طاقة الجهد

(٦٤) طاقة الحركة — هي ما تنشأ عن حركة جسم وهى تقدر بكمية الشغل الذى يحدثه قبل أن يسكن او بمقدار الشغل الذى تحدثه قوة تؤثر فيه في اتجاه مضاد لحركته حتى تستحيل الى سكون

فاذا فرض جسم كتلته ك متحركا حركة منتظمة سرعتها س وكان المراد تعيين طاقة حركته نبحث عن مقدار الشغل الناتج من تأثير قوة ن عليه في اتجاه مضاد لاتجاه حركته حتى يسكن

ولذلك نرمز للعجلة السالبة اي التقصير الناشيء من تأثير القوة المذكورة بالرمز ع وللمسافة التي يقطعها الجسم قبل أن يسكن بالرمز م فيكون بناء على ما سبق

$$\text{ن} = \text{ع}\,\text{ك} \qquad \text{١ ٥}$$

$$\text{ع} = \frac{\text{ن}}{\text{ك}}$$

ويكون أيضاً

$$0 = \text{س}^{2} - 2\,\text{ع}\,\text{م} \qquad \text{١ ٥}$$

$$2\,\text{ع}\,\text{م} = \text{س}^{2} \qquad \text{١ ٥}$$

$$\frac{2\,\text{ن}\,\text{م}}{\text{ك}} = \text{س}^{2} \qquad \text{١ ٥}$$

$$\text{ن}\,\text{م} = \tfrac{1}{2}\,\text{ك}\,\text{س}^{2}$$

وبما أن ن م عبارة عن الشغل الحادث لاحالة الجسم من الحركة الى السكون ينتج ان ما يساويه وهو $\tfrac{1}{2}$ ك س$^{2}$ يدل على مقدار طاقة حركة الجسم

وبناء على ذلك تكون طاقة حركة جسم تساوى نصف حاصل ضرب كتلته في مربع سرعته

وليست طاقة حركة الاجسام المتحركة شيئاً مكتسباً بل انها تساوي بالضبط مقدار الشغل المفقود الذي أكسب المتحرك السرعة المتمتع بها — فاذا فرضنا جسما ساكناً

كتلة ك أثرت فيه قوة مقدارها ق مدة من الزمن تساوي ز وكانت السرعة النهائية الحادثة في الجسم تساوى س وعجلة الحركة تساوى ح والمسافة التي قطعها الجسم تساوي م ينتج $س^{٢} = ٢ ح م$

وتكون طاقة حركة الجسم بعد الزمن ز تساوى

$$\frac{١}{٢} ك س^{٢} = ك ح م = ق م$$

وهو ما أودنا اثباته

فاذا فرضنا مثلا قطاراً خارجاً من سكون فان سرعته في مبدأ تحركه تأخذ في الازدياد ويكون حينئذ الشغل المحرك الناتج أعظم من الشغل المقاوم والفرق بين الشغلين المذكورين لا يضيع هباء بل يبقى محفوظاً في القطار على حالة طاقة حركة بحيث اذا حذفت القوة المحركة أى تأثير البخار فالقطار لا يسكن رغماً عن القوى المقاومة بل يستمر في الحركة وتأخذ حركته في النقص حتى يسكن بعد زمن يتولد فيه مقدار من الشغل يساوى بالضبط مقدار الشغل الذى أحدث زيادة سرعة القطار

وهذه القاعدة عامة بمعنى ان كل ما ينعدم من الشغل يستحيل الى طاقة حركة وكل ما ينعدم من طاقة الحركة يستحيل الى شغل مساو للشغل الذى أحدثه

ويمكن اثبات القاعدة السابقة أيضاً اذا كان للجسم الذى تؤثر فيه القوة سرعة ابتدائية ب فمقدار الزيادة الناتجة في طاقة حركة الجسم اذا غيرتأثير القوة سرعته من ب الى س يكون مساوياً بالضبط لمقدار الشغل المحدث لهذه الزيادة

وذلك لان

$$س^{٢} - ب^{٢} = ٢ ح م$$

وأيضاً

$$\tfrac{1}{2}\,\text{ك}\,\text{س}^{2} - \tfrac{1}{2}\,\text{ك}\,\text{ب}^{2} = \tfrac{1}{2}\,\text{ك}\,(\text{س}^{2} - \text{ب}^{2}) = \text{ك}\,\text{ع}\,\text{م} = \text{ق}\,\text{م}$$

وهو المطلوب

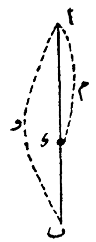
تنبيه — اذا فرضنا في المتساوية السابقة أن م = ١ ينتج أن ك ع = ق أى ان طاقة الحركة تزيد كل ما يقطع المتحرك مسافة تساوى وحدة الاطوال بمقدار القوة المؤثرة فى الجسم

(٦٥) طاقة الجهد — هي كمية الشغل الذى يحدثه جسم تغير شكله ( اذا كان مرناً ) أو وضعه ( اذا كان غير ذلك ) عند ارتداده الى شكله أو وضعه الاول

فكل زنبلك متوتر وجسم مرفوع عن سطح الارض وغاز مضغوط تكون له طاقة جهد وهي تساوى الشغل المتحصل من الزنبلك عند ارتداده الى شكله المعتاد والجسم عند سقوطه الى سطح الارض والغاز عند انتشاره الى أن تصير قوته المرنة مساوية لما كانت عليه قبل ضغطه

وعند ما تبتدئ الاجسام السالفة الذكر فى التحرك ( أى الزنبلك في الارتداد الى وضعه المعتاد والجسم فى السقوط والغاز فى الانتشار ) تظهر فى جميعها طاقة حركة تأخذ فى الازدياد مع حصول نقص فى طاقة جهدها ويكون على الدوام مقدار الزيادة الحاصل في طاقة حركتها مساوياً بالضبط لمقدار النقص الحاصل في طاقة جهدها أى ان مجموع طاقة حركة وطاقة جهد كل منها لا يتغير أثناء حركته

ولبيان ذلك نفرض جسماً كتلته ك ساقطاً من نقطة ا تبعد عن سطح الارض




بمسافة ا ب = و ونفرض أن سرعته بعد ان يقطع المسافة ا ء المرموز لها بالحرف م تساوى س فينتج بناء على ما تقدم أن

س^٢ = ٢ حـ م (حـ رمز للعجلة الناشئة من جذب الارض)

وتكون حينئذ طاقة حركة الجسم وهو في الوضع ء تساوى

½ ك س^٢ = ك حـ م

أما طاقة وضعه وهو في النقطة ء فتكون بناء على تعريف طاقة الجهد ش (٤٩) عبارة عن الشغل الذى يحدثه بسقوطه من ء الى ب وهويساوى بناء على تعريف الشغل

ك حـ × ء ب = ك حـ (و — م)

وبناء على ذلك يكون مجموع الطاقتين هو

ك حـ م + ك حـ (و — م) = ك حـ و = عدداً ثابتاً

وبما ان طاقة جهد الجسم وهو فى النقطة ا تساوى ك حـ و وطاقة حركته وهو فى النقطة المذكورة تساوى صفراً ينتج ان مجموع الطاقتين فى أى لحظة اثناء السقوط يساوى طاقة جهد الجسم قبل سقوطه

ومن المهم ملاحظتـه أيضاً هو ان طاقة الجسم وهو فى الوضع ا تساوى الشغل اللازم لرفعه من ب اليها

فاذا فرضنا الآن أن الجسم مرن وليكن كرة من العاج وان السطح الذى يسقط عليه سطح أفقى مرن أيضاً وليكن سطحاً من الرخام فعند ملامسة الكرة للسطح المذكور ترتد على اتجاهها نظراً لطاقة الحركة التى تتولد فيها وترتفع ثانية للنقطة التى اسقطت منها فتستحيل حينئذ طاقة حركتها الى طاقة جهد وتسقط ثانية وهكذا

ويجب نظرياً استمرار هذه الحركة الى ما لا نهاية له غير ان الواقع غير ذلك اذ أن

لارتفاع النهائى الذى تصل اليه الكرة يأخذ فى النقصان حتى تسكن وذلك ناتج من مقاومة الهواء لها وعدم تمام مرونة كل من العاج والرخام

وهناك احوال كثيرة يظهر فيها فقد الطاقة فاذا عوضنا كرة العاج بكرة من الرصاص مثلاً ظهر لنا ان الكرة المذكورة لا ترجع بعد مصادمتها السطح الافقى بمقدار محسوس غير اننا نشاهد زيادة في درجة حرارتها وفى جميع الاحوال التى تفقد فيها طاقة الحركة أو جزء منها يكون على الدوام مقدار الفقد مناسباً لكمية الحرارة الحادثة فى الجسم اى ان فقد الطاقة يقابله على الدوام ارتفاع فى درجة الحرارة مناسب له

وقاعدة حفظ الطاقة صحيحة فى جميع احوال الحركة التى لا تدخل فيها بعض العوائق كالاحتكاك ومقاومة الهواء والتصادم وهلم جراً والطاقة على العموم قابلة للاستحالة وليست قابلة للانعدام فعند انزلاق جسم على سطح مائل غير مصقول مثلاً يستحيل جزء من طاقة حركة الجسم الى حرارة تظهر فى آن واحد فى كل من السطح المائل والجسم وعند ايقاف قطار باستعمال الفرامل يستحيل فقد الطاقة الى حرارة تظهر فى الاجزاء المتحركة من الآلة والاجزاء الملامسة لها

وقد أوصل البحث الدقيق الى اعتبار الحرارة والكهرباء والضوء تنوعاً في الطاقة بل الى اعتبارها ناشئة من حركات مخصوصة تحصل فى جزيئات الاجسام بعضها بالنسبة للبعض الآخر فبمصادمة كرة الرصاص للسطح الافقي تستحيل حركتها العمومية الى حركات خاصة تحصل فى جزيئاتها أى ان طاقة حركة كرة الرصاص تظهر بشكل آخر وبالاختصار فالطاقة كالمادة لا تعدم ويمكن فقط تحويلها من حالة الى أخرى وبهذا الاعتبار يمكن القول بأن علم الطبيعة علم يبحث فيه عن الطاقة وتحولها

# مطبوعات الجامعة المصرية

## ( باللغة العربية )

| القيمة ص | | عدد الاجزاء |
|---|---|---|
| ٢٥ | تاريخ الادب أو حياة اللغة العربية للاستاذ حفني ناصف بك مزين برسوم | ٤ |
| ٢٥ | علم الطبيعة ( خواص المادة ) للاستاذ اسماعيل حسنين بك مزين برسوم | ٤ |
| ٢٥ | تاريخ علم الفلك عند العرب في القرون الوسطى للاستاذ السنيور كرلو نلينو | ٤ |

## ( باللغة الانجليزية )

| القيمة ص | | عدد الاجزاء |
|---|---|---|
| ١٢ | آداب اللغة الانكليزية ( تاريخ التمثيل ) للاستاذ المستر شارل سيسون | ١ |

## ( باللغة الفرنسية )

| القيمة ص | | عدد الاجزاء |
|---|---|---|
| ٤٠ | آداب اللغة الفرنسية ( تاريخ التمثيل ) للاستاذ المسيو بوفيليه | ٤ |
| ٤٠ | علم الاقتصاد السياسي للاستاذ المسيو جرمان مارتان | ٤ |
| ٤٠ | المرأة وحالتها في الماضي والحاضر للاستاذه مدموازيل كوفرور | ٤ |

تطلب هذه المطبوعات من ادارة الجامعة المصرية مباشرة بالقاهرة ومن المكاتب الشهيرة ويضاف على قيمتها ستة قروش عن كل مجموعه لأجرة البريد للمقيمين خارج القاهرة

علم الطبیعه

[illegible]

[illegible]