

حلقة بحث في الفيزياء بعنوان

كوريوليس..... أثر أم قوة

Coriolisforce or effect

إعداد الطالبة: مرام أحمد

إشراف المدرس: حسام حاج قاسم

عام 2015/2014



المقدمة

في القديم كانت مدارك الإنسان محصورة على ما يراه أمام عينيه فقط ولم يكن هنالك بعد ما يدعى بالرؤية أو النسبية فنحن نعلم في يومنا الحالي أن ما نراه يتحرك قد نراه من جملة مرجع أخرى ساكناً أو قد نراه يتحرك بسرعة أكبر أو حتى من الممكن أن يكون واقفاً بالنسبة للبعض الآخر .

لذلك لا يمكننا أن نجزم سكون أو حركة جسم أو في أي اتجاه يتحرك .

فمثلاً لو طرحنا مثلاً: قطاران يسيران معاً بنفس الاتجاه وبسرعة واحدة ، ترمي كرة من مقصورتك في القطار الأول نحو صديقك في المقصورة المقابلة لك في القطار الآخر ، سوف ترى الكرة تتحرك بشكل مستقيم وتصل إليه ولكن لو سألنا مراقب من خارج القطارين فسوف يقول لك أنها انطلقت بخط منحرف .

كلاهما هنا صحيح . فأنت حددت جهة الحركة من جملة القطار الذي يتحرك بنفس السرعة الأفقية للكرة وبالتالي لن تلاحظ عندها الحركة الأفقية لها فتراها تتحرك بشكل مستقيم ،

وأيضاً المراقب الخارجي على حق من جملة مرجعه وهي الأرض حيث أنه يلاحظ السرعتين : الأفقية والعمودية فيراها تتحرك بشكل خط منحرف بزاوية معينة .

نحن نعلم أن الأرض تتحرك حركة دورانية حول نفسها للانتقال من الليل للنهار وبالعكس ، ونعلم أن الأجسام في حالتها السكونية نسبة للأرض تتعرض لقوة الجاذبية الأرضية والقوة الطاردة المركزية بينما عند تحرك هذه الأجسام فسوف تؤثر عليها قوة جديدة أيضاً وهي قوة كوريوليس .

يمكن أن نعرف قوة كوريوليس على أنها القوة التي تنحرف من خلالها الأجسام المتحركة نسبياً عن مسارها الأساسي في جملة مرجع تدور حركة دورانية .

و تعتبر قوة كوريوليس قوة ظاهرية من أصل ثلاث قوى ظاهرية مسؤولة عن حرف الأجسام المتحركة في مستويات محددة على الأرض :

1-القوة المسؤولة عن الانحراف العمودي في الحركة الأفقية

2-القوة المسؤولة عن الانحراف الأفقي في الحركة العمودية

3-القوة المسؤولة عن الانحراف الأفقي في الحركة الأفقية (قوة كوريوليس) .

ولكن من الغريب أن نقول أن قوة كوريوليس ليس لها أي تأثير على القيمة الجبرية للسرعة وإنما هي تغير فقط جهة شعاع السرعة لهذا الجسم .

لو جردنا الجسم من القوى المؤثرة عليه وأبقينا قوة كوريوليس والطاردة المركزية والقوة الجاذبة ،فسوف نلاحظ على الأرض انحراف الأجسام في نصف الكرة الأرضية الشمالي إلى يمين اتجاهها الأصلي وإلى يسار اتجاهها الأصلي في نصف الكرة الجنوبي .



ولكن بما أنها لا تغير من سرعة الجسم فكيف لها أن تكون قوة , ولكن إن لم تكن نود أن نطلق عليها اسم "قوة" فماذا إذن سنسميها ؟؟؟؟؟

في هذا البحث سوف ندرس قوة كوريوليس دراسة رياضية بالإضافة إلى أننا سنتطرق إلى أمثلة حياتية وتحدث عن تطبيقاتها في حل المشكلات والمسائل الجيو فيزيائية المتعلقة بحركة الرياح والضغط و.....



Gaspard Gustave de Coriolis

1792 – 1843

عالم الرياضيات الفرنسي كوريوليس

ولد في فرنسا وتدرّب كـمهندس , أصبح باحثاً عندما كان في الرابعة والعشرين من عمره حيث كان مفتوناً بالأبحاث المتعلقة بالميكانيك الدوراني , لقد كان محباً لاشتقاق معادلات الحركة في الجمل المرجعية المتحركة , حيث قدمت أعماله لأكاديمية العلوم في صيف عام 1831 .

كان له دور كبير بعد علماء كثر بحثوا في موضوع القوى الظاهرية على الأرض حيث يعد كوريوليس العالم الذي وضع المعادلات المحددة لقوة كوريوليس .



الفهرس

الصفحة	المحاور الأساسية	الصفحة	الفصل
1	تعريف بقوة كوريوليس	1	المقدمة
2	العالم الفرنسي كوريوليس		
		3	الفهرس
4	1- قبل العالم كوريوليس	4	تاريخ دراسة قوة كوريوليس
5	2- بعد العالم كوريوليس		
7	1- تسارع قوة كوريوليس	7	الدراسة الرياضية لقوة كوريوليس
9	2- عملها وشكل مسار الجسم الخاضع لها		
11	3- تسارعها على الأرض		
13	1- الظواهر الجيولوجية	13	بعض الظواهر التي تؤثر بها قوة كوريوليس
14	2- تفسير الظواهر الفلكية		
15	3- بعض الظواهر الحياتية		
		15	مسائل على قوة كوريوليس
		18	كيف يمكن أن نرى عملياً قوة كوريوليس
		19	الخاتمة والنتائج
		20	المصادر والمراجع

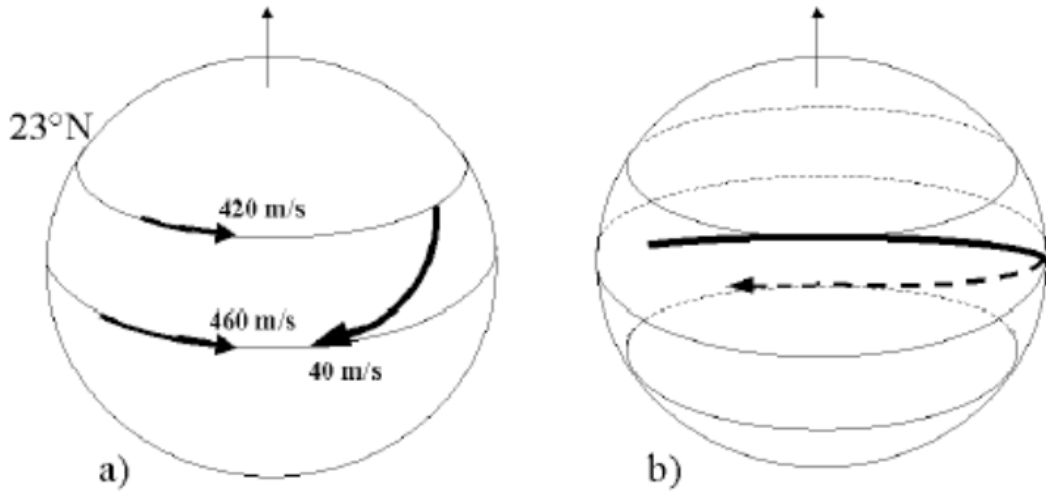


1.....تاريخ دراسة قوة كوريوليس¹

1-1 الانحراف الأفقي في الحركة الأفقية (قبل قدوم كوريوليس وتسمية القوة باسمه)

في عام 1735 اقترح العالم جورج هادلي أنه بما أن سطح الأرض عند خط الاستواء أسرع منه عند درجات العرض الأخرى ، بالتالي ستتحرف الرياح القادمة من شمال خط الاستواء إلى الخلف وتبدو كرياح شمالية شرقية ، وبنفس الطريقة ستبدو كرياح جنوبية شرقية في حال كانت قادمة من جنوب خط الاستواء .

لقد كان تفسير هادلي جيداً مقارنة بعصره ولكنه خاطئ لسبب أنه حتى لو افترضنا أن تفسيره صحيح فسوف يكون غير كامل ، لأن كلامه يفسر انحراف الأجسام فقط في الحركة الشمالية جنوبية بينما تشمل هذه الظاهرة انحراف الأجسام في الحركة الشرقية غربية .



الشكل (1) يبين تصور العالم هادلي ، بينما يبين الجزء الثاني الانحراف بعيد المدى .

¹ The Coriolis Effect/Anders O. Persson /Department for research and development Swedish Meteorological and Hydrological Institute /SE 601 71 Norrköping, Sweden



-بعد عدة سنوات من تفسير هادلي ، في عام 1742 قدم عالم الرياضيات الفرنسي كلي روت تفسيراً لانحراف الأجسام عند حركتها في جمل مرجعية دائرة إلا أنه كان مشابهاً جداً لتفسير العالم هادلي .

- يعد العالم بيير سيمون لابلاس (1749-1827) المكتشف الحقيقي لقوة كوريوليس منذ أن نشر أوراقه التي عرض فيها معادلات الحركة في الجمل الدائرة متضمناً تسارع قوة كوريوليس إلا أنه لم يقدم آنذاك أي تفسير فيزيائي له (فلم يقل أنه تسارع لقوة ما) بل واستخدم اقتراح هادلي لكي يفسر انحراف الرياح التجارية .

لم يكن معروفاً ما إذا كان لابلاس في عام 1775 يعلم بورقة العالم هادلي 1735 أم أنه توصل من خلال دراسته إلى النتيجة نفسها .

- ظل تفسير هادلي سائداً حتى نهاية القرن الثامن عشر عندما أبطله العالم جون دالتون في عام 1793 .

-تبنى العالم الألماني هنرش دوف تفسير هادلي قبيل هذا الوقت وأصبحت هذه النظرية تعرف بنظرية هادلي-دوف .اكتسب دوف الشهرة بعد قانونه "قانون انحراف الرياح" والذي ينص على انحراف الرياح من الجنوب للغرب للشمال للشرق للجنوب (أي إلى يمين الاتجاه الأصلي في كل الظروف والحالات) .

-في عام 1843 قدم العالم الأمريكي كارلس تراكي اقتراحه بأن الانحراف ممكن أن يكون في الحركة الشرقية غربية , وقد توقع أن الشكل الكروي للأرض هو السبب الأساسي لهذا الانحراف الذي سيكون نحو يمين الاتجاه الأصلي .

ولكن كارلس كان حرجاً من أن نتيجة دراسته تبين أنه في الحركة الغربية يتم الانحراف نحو يسار الاتجاه الأصلي .

1-2 قوة كوريوليس (مع العالم كوريوليس)

في بداية الثورة الصناعية في أوروبا ,تطورت في فرنسا حركة وطنية راديكالية تدعو للتحكم بالآلات بواسطة المهندسين والعمال المختصين بالميكانيك .

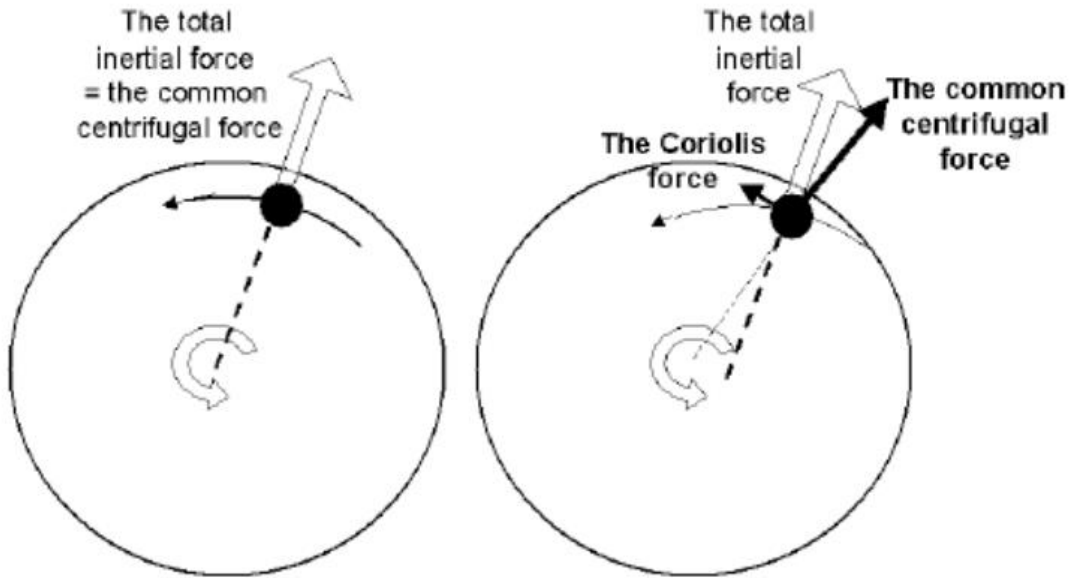


نشر المدرس المشهور غاسبرد كوريوليس في عام 1829 كتابه الذي يتحدث فيه عن الميكانيك المستخدم في الصناعة ،وفي هذا الكتاب وجدنا لأول مرة التعبير الصحيح عن الطاقة الحركية .
في عام 1835 نشر كوريوليس الورقة التي لربما ستصنع منه عالماً مشهوراً والتي كتب فيه معادلاته التي تخص الحركة في الجمل المرجعية الدائرية .

عرض في ورقته أن القوى المقاومة على الأرض أثناء حركة الجسم والناجمة عن دوران الأرض هي اثنتين (القوة الطاردة المركزية) وقوة أخرى أطلق عليها اسم (قوة كوريوليس) وهذا ما يتفق مع المعادلة التالية :

$$^2 ma_r = ma - 2m\Omega \times V_r - m\Omega \times (\Omega \times R)$$

لم يكن العالم كوريوليس مهتماً باكتشافه لهذه القوة بقدرنا نحن ،فقط كان يقارنها مع القوة الأخرى وهي القوة الطاردة المركزية .
والآن أصبح باستطاعته أن يقول أن قوة كوريوليس هي من القوى المقاومة الناتجة عن دوران الأرض مع القوة الطاردة .
لاحظ الشكل التالي (الشكل 2)



رسم توضيحي (2) يبين مركبتا القوة العطالية الناتجة عن دوران الأرض وهي اثنتان :القوة الطاردة المركزية وقوة كوريوليس

^{2 2} The Coriolis Effect/Anders O. Persson /Department for research and development Swedish Meteorological and Hydrological Institute /SE 601 71 Norrköping, Sweden



1-2 تسارع قوة كوريوليس

لنبسب الدراسة الرياضية، دعونا في البداية نكتشف الجملتين الاحداثيتين الآتيتين . ولتكن X و Y إحداثيات جملة مرجعية ساكنة X, Y و إحداثيات جملة مرجعية لها نفس المبدأ ولكنها دائرة بسرعة زاوية ω (أوميغا) ونلاحظ شعاعي الوحدة للجملة الأولى (i, j) والثانية (\hat{i}, \hat{j}). نجد أن :

$$\hat{i} = I \cos \Omega t + J \sin \Omega t, \quad (2-1a)$$

$$\hat{j} = -I \sin \Omega t + J \cos \Omega t \quad (2-1b)$$

نحسب شعاع الموضع لأي نقطة r

$$r = XI + YJ = xi + yj$$

بالعلاقة :

$$x = X \cos \Omega t + Y \sin \Omega t, \quad (2-2a)$$

$$y = -X \sin \Omega t + Y \cos \Omega t. \quad (2-2b)$$

والمشتق الأول لشعاع الموضع بالنسبة للجملة المتحركة يحسب على مركبتين :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dX}{dt} \cos \Omega t + \frac{dY}{dt} \sin \Omega t - \Omega X \sin \Omega t + \Omega Y \cos \Omega t \quad (2-3a)$$

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{dX}{dt} \sin \Omega t + \frac{dY}{dt} \cos \Omega t - \Omega X \cos \Omega t - \Omega Y \sin \Omega t. \quad (2-3b)$$

يمثل هذا المشتق تغير موقع الشعاع خلال الزمن وهو السرعة .

$$\mathbf{u} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j}.$$

وبنفس الطريقة نجد أن السرعة بالنسبة للجملة الثابتة :

$$\mathbf{U} = \frac{dX}{dt} \mathbf{I} + \frac{dY}{dt} \mathbf{J}$$

³ James F. Price
Woods Hole Oceanographic Institution
Woods Hole, Massachusetts, 02543
<http://www.whoi.edu/science/PO/people/jprice>
jprice@whoi.edu



دعونا نمثل هذه السرعة بدلالة أشعة الجملة المتحركة :

$$\mathbf{U} = \left(\frac{dX}{dt} \cos \Omega t + \frac{dY}{dt} \sin \Omega t \right) \mathbf{i} + \left(-\frac{dX}{dt} \sin \Omega t + \frac{dY}{dt} \cos \Omega t \right) \mathbf{j} \\ = U \mathbf{i} + V \mathbf{j}. \quad (2-5)$$

نلاحظ أن U و V هي مركبتا شعاع السرعة نسبة للجملة الثابتة، أما u و v فهي مركبتا شعاع السرعة بالنسبة للجملة المتحركة. نستدل من المعادلتين (2-2) و (2-3) على أن :

$$U = u - \Omega y, \quad V = v + \Omega x. \quad (2-6)$$

ونستنتج من ذلك أن سرعة الجملة الثابتة هي سرعة النقطة نسبة للجملة المتحركة مضافاً لها سرعة الجملة المتحركة .

والآن دعونا نجد مركبتا تسارع الجسم بالنسبة للجملة المتحركة :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \left(\frac{d^2X}{dt^2} \cos \Omega t + \frac{d^2Y}{dt^2} \sin \Omega t \right) + 2\Omega \left(-\frac{dX}{dt} \sin \Omega t + \frac{dY}{dt} \cos \Omega t \right) \\ - \Omega^2 (X \cos \Omega t + Y \sin \Omega t) \quad (2-7a)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \left(-\frac{d^2X}{dt^2} \sin \Omega t + \frac{d^2Y}{dt^2} \cos \Omega t \right) - 2\Omega \left(\frac{dX}{dt} \cos \Omega t + \frac{dY}{dt} \sin \Omega t \right) \\ - \Omega^2 (-X \sin \Omega t + Y \cos \Omega t). \quad (2-7b)$$

ويمكن أن نصيغ عبارة التسارع بالنسبة للجملة الثابتة والمتحركة على الشكل :

$$\mathbf{a} = \frac{d^2x}{dt^2} \mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2} \mathbf{j} = \frac{du}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv}{dt} \mathbf{j} = a \mathbf{i} + b \mathbf{j}$$

$$\mathbf{A} = \frac{d^2X}{dt^2} \mathbf{I} + \frac{d^2Y}{dt^2} \mathbf{J} = A \mathbf{i} + B \mathbf{j},$$

وبالتالي :

$$a = A + 2\Omega V - \Omega^2 x, \quad b = B - 2\Omega U - \Omega^2 y.$$

إذن باشتقاق السرعة بالنسبة للجملة الثابتة ([the absolute velocity](#)) نجد أن A هي التسارع والذي يمتلك مركبتان على الجملة المتحركة A, B كما رأينا في المعادلة السابقة. دعونا نكتب هذه المركبات بدلالة مركبتا التسارع على الجملة المتحركة. نجد أن :

$$A = a - 2\Omega v - \Omega^2 x, \quad B = b + 2\Omega u - \Omega^2 y$$

والآن نلاحظ أخيراً الفرق بين التسارعين والذي يمكن أن نحله على جزأين :

الجزء الأول الذي كتب نسبة لأوميغا والسرعة يدعى تسارع كوريوليس، والثاني بدلالة مربع السرعة الزاوية يدعى بتسارع القوة الطاردة. طبعاً تبعاً لنيتون يتبع هذين التسارعين لقوتين: القوة الطاردة



المركزية التي تؤثر على الجسم فتدفعه إلى خارج الجسم الدائر وقوة كوريوليس التي تتبع لاتجاه الحركة والسرعة النسبية .

2-2 عمل قوة كوريوليس و استنتاج شكل مسار حركة الجسم الخاضع لها

لكي نفهم عمل قوة كوريوليس دعونا نختبر حركة جسم على جملة تدور حركة دورانية , إذا انعدمت محصلة القوى المؤثرة على هذا الجسم فيصبح وبحسب قانون نيوتن الثاني تسارع هذا الجسم معدوماً , تبعاً للمعادلة (2-8) مع إهمال تسارع القوة الطاردة لصغر قيمتها للسرعات المتوسطة العادية تصبح المعادلات المعبرة عن قيم مركبتا التسارع :

$$\frac{du}{dt} - 2\Omega v = 0, \quad \frac{dv}{dt} + 2\Omega u = 0. \quad (2-10)$$

الحل العام لهذه المعادلة هو :

$$u = V \sin(ft + \phi), \quad v = V \cos(ft + \phi), \quad (2-11)$$

حيث $f=2\omega$ يدعى Coriolis parameter ، V و ϕ هي قيمتين ثابتتين للتكامل (للملاحظة يجب ألا نخلط قيمة V مع مركبة السرعة على محور y والتي عرضت في الجزء السابق ،إنما \underline{V} ثابت يحسب من التكامل) ، كنتيجة أولى نلاحظ أن قيمة $(u^2 + v^2)^{1/2}$ لا تتغير مع الزمن وهي مساوية لقيمة V .

نتيجة : قوة كوريوليس لا تغير من سرعة الجسم أبداً وبالتالي نعود لنطرح السؤال ذاته :هل يمكننا اعتبارها قوة؟

على الرغم من أن هذه القيمة تبقى ثابتة إلا أن المركبتان u, v تتغير جهتها مع الوقت , لكي نحسب قيمة أثر الانحراف أو قوة الانحراف , من تعريف شعاع السرعة : نجد من مركبة السرعة على المحور العمودي وهي v وعلى المحور الأفقي u والتكامل الثاني بالنسبة للزمن :

$$x = x_0 - \frac{V}{f} \cos(ft + \phi) \quad (2-12a)$$

$$y = y_0 + \frac{V}{f} \sin(ft + \phi), \quad (2-12b)$$

حيث أن x_0 و y_0 قيمتان ثابتتان في التكامل , من العلاقات السابقة نجد مباشرة أن :

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = \left(\frac{V}{f}\right)^2$$



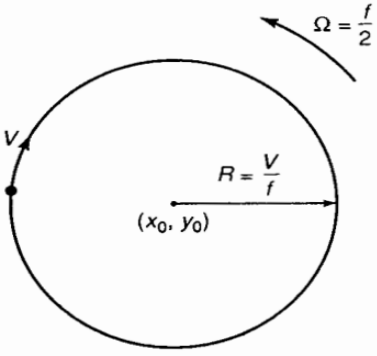


Figure 2-4 Inertial oscillation of a free particle on a rotating plane. The orbital period is exactly half of the ambient revolution period. This figure has been drawn with a positive Coriolis parameter, f , representative of the Northern Hemisphere. If f were negative (as in the Southern Hemisphere), the particle would veer to the left.

رسم توضيحي 4

وبالتالي :

النتيجة : المسار هو لدائرة مركزها (x_0, y_0) ونصف قطرها V/f .

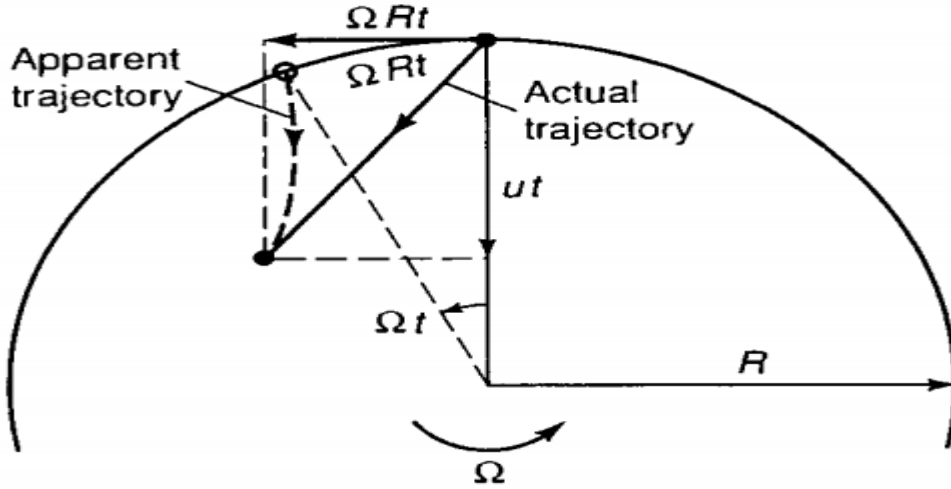
تصور هذه الحالة من خلال الشكل (4)

في حالة السكون , تكون قيمة نصف القطر

لانهاية وبالتالي يكون المسار مستقيماً , أما في حالة الدوران ينحرف الجسم بشكل ثابت .

نستدل من اختبار بسيط للمعادلات (12-2) أن الجسم ينحرف إلى اليمين (مع عقارب الساعة) في حال كانت f موجبة , وفي حال كانت سالبة ينحرف نحو اليسار (عكس عقارب الساعة) , حيث يقول القانون أن الجسم ينحرف بعكس جهة دوران جملة المرجع .

ربما لم يفهم بعضنا ماهية قوة كوريوليس حتى الآن , لذلك دعونا نطرح مثالا هندسيا مع تحليله تحليلاً فيزيائياً :

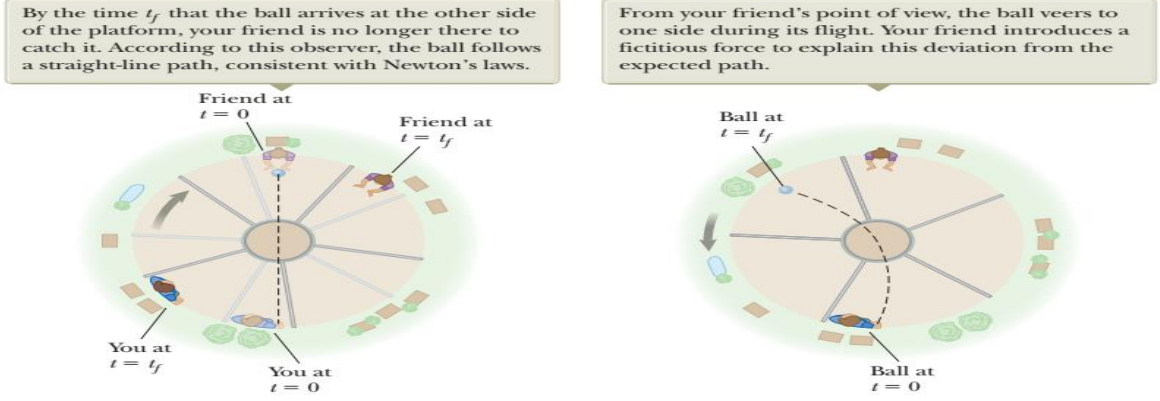


رسم توضيحي 5 يبين مسار جسم على جملة دائرة

افتراض قرص merry go round وأنت جالس على أحد أطرافه ترمي كرة إلى صديقك الذي يجلس في الطرف الآخر , بعد زمن t تكون الكرة قد اقتربت من مركز الدوران مسافة $u.t$ وانحرفت جانبا مسافة $R.t \omega$ (يحدد موقعها بالنقطة السوداء على الشكل 5) ولكن نلاحظ أن زميلك يظن أنها قادمة من النقطة المحددة بالدائرة الفارغة أي أنها تنحرف بالنسبة له إلى يساره وهذا في



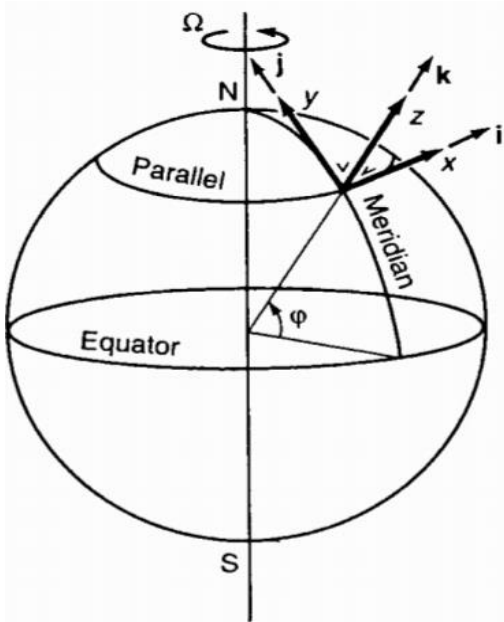
حال كانت الحركة عكس عقارب الساعة والعكس صحيح. ولكن في نفس الوقت فبالنسبة لمراقب من خارج القرص فإنه يرى الكرة تتحرك في مسار مستقيم كما رمت من قبلك أنت . وما سبب هذا الانحراف النسبي هو قوة كوريوليس . لاحظ الشكل التوضيحي التالي (الشكل 6)



رسم توضيحي 6 يمثل كرة تسير على قرص دوار ومسارها بالنسبة لمراقب داخلي وخارجي

3-2 تسارع قوة كوريوليس على الأرض

على الأرض التي تدور حول قطبيها الشمالي والجنوبي تأخذ قوة كوريوليس صيغة أخرى مختلفة عن التي ذكرناها سابقاً .



رسم توضيحي 7 يبين شكل تمثلي للأرض مع محاورها الإحداثية

لاحظ الصورة التالية (الشكل 7) والتي تمثل شكل تمثلي للأرض الدائرة :

يمثل المحور x الحركة إلى الشرق والغرب ، والمحور y يمثل الحركة شمالاً وجنوباً، أما المحور z فيمثل الحركة للأعلى والأسفل.

يعبر عن شعاع السرعة الزاوية للأرض بالعلاقة :

$$\Omega = \Omega \cos \phi j + \Omega \sin \phi k. \quad (2-18)$$

والتسارع الكلي بدون تسارع القوة الطاردة والذي يساوي $\frac{du}{dt} + 2\Omega \times u$:



يمتلك ثلاث مركبات :

$$x: \frac{du}{dt} + 2\Omega \cos \varphi w - 2\Omega \sin \varphi v \quad (2-19a)$$

$$y: \frac{dv}{dt} + 2\Omega \sin \varphi u \quad (2-19b)$$

$$z: \frac{dw}{dt} - 2\Omega \cos \varphi u. \quad (2-19c)$$

وللسهولة في التعامل سوف نفرض وجود قيمتين :

$$f = 2\Omega \sin \varphi , \quad (2-20)$$

$$f. = 2\Omega \cos \varphi . \quad (2-21)$$

حيث f تدعى ب Coriolis parameter أما $f.$ تدعى reciprocal Coriolis parameter
في نصف الكرة الشمالي تكون قيمة f موجبة أما في نصف الكرة الجنوبي فتكون سالبة وتساوي
الصفير عند خط الاستواء .وبالمقابل فإن قيمة $f.$ تكون موجبة في النصفين وتندعم عند القطبين .
يمكننا أن نهمل قيمة $f.$ ونهتم بقيمة f فقط .

أفقياً في الحركة التي لا تخضع لأي قوة :

$$\frac{du}{dt} - fv = 0 \quad (2-22a)$$

$$\frac{dv}{dt} + fu = 0 \quad (2-22b)$$

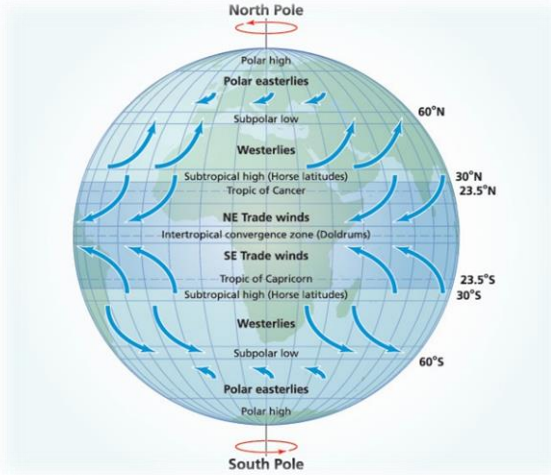
النتيجة: ما زال التسارع يمثل بالعلاقة (2-11) ولكن الفرق يكمن في f ففي الجمل المرجعية
ثنائية البعد تكون قيمتها ضعفي السرعة الزاوية للجمل، أما في الجمل ثلاثية البعد كالأرض
تكون قيمتها ضعفي السرعة الزاوية للجمل مضروباً بجيب درجة العرض.



1-3 دور دراسة أثر كوريوليس في تفسير الظواهر الجيوفيزيائية



الشكل 8 إعصار أندريو في الولايات المتحدة



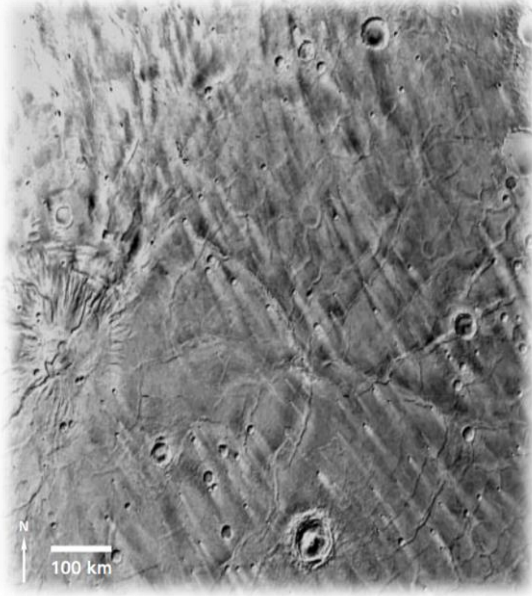
الشكل 9 اتجاه الرياح على الكرة الأرضية بعد تعرضها لقوة كوريوليس

لعل واحدة من أهم التطبيقات لقوة كوريوليس في الظواهر الجيوفيزيائية هي الأعاصير، لو لم تكن الأرض تتحرك لكان الهواء الدافئ انتقل بكل بساطة شمالاً وجنوباً نحو القطبين الشمالي والجنوبي ولكن كما تعرفنا سابقاً فإن قوة كوريوليس سوف تحرف هذه الرياح شرقاً في نصف الكرة الشمالي وغرباً في نصف الكرة الجنوبي وتخلق انحراف كبير في درجات العرض المتوسطة، فلو وجدت منطقة ضغط منخفض في المحيط شمال خط الاستواء مثلاً فسوف تسعى الرياح أن تتجه نحوها ولكن عادة سوف تضيق الرياح هدفها الأصلي وسوف تحرف نحو اليمين وتقطع هذه المنطقة بفعل قوة كوريوليس، ولكن بالطبع سوف تُجر هذه الرياح حتى تعود إلى منطقة الضغط المنخفض حتى تعود الرياح لتقطع هذه

المنطقة وتتجه يمينا وهكذا دواليك فنرى شكل الإعصار كالموجود في الصورة (الشكل 8) وهو إعصار أندريو في الولايات المتحدة الأمريكية الذي عصف خلال فلوريدا عام 1992 وحطم 125000 منزل تقريبا .



2-3 دور دراسة قوة كوريوليس في تفسير بعض الظواهر الفلكية⁵



الشكل 10 سطح المريخ

كان لدراسة أثر كوريوليس دور مهم في تفسير أو إثبات بعض الظواهر الفلكية. فمثلاً بطرق الاستدلال غير المباشر هل بإمكاننا أن نثبت دوران المريخ حول نفسه دون أن نذهب بالقرب منه؟؟ بالطبع نعم ، دعونا نرى إحدى هذه الطرق . لاحظ الشكل التالي (الشكل 10) والذي يبين جزء من كوكب المريخ، تعمل الرمال المضيئة والحفر عليه كدلالة على اتجاه الرياح .

من الشكل هل يمكن أن تبين ما إذا كان اتجاه الرمال مستقيم أم منحرف؟

إنه منحرف وذلك ما يدلنا على وجود أثر كوريوليس على كوكب المريخ والذي يبرهن بدوره دوران الكوكب حول نفسه فذلك هو السبب الأول الذي يؤدي لوجود أثر كوريوليس .

لاحظ أن الرياح قادمة من الشمال وقد انحرفت نحو يسار اتجاهها الأصلي بالتالي لو افترضنا أن المريخ يدور بنفس جهة دوران الأرض حول نفسها ستكون الصورة مأخوذة من النصف الجنوبي للمريخ لا الشمالي .

3-3 قوة كوريوليس في حياتنا العملية

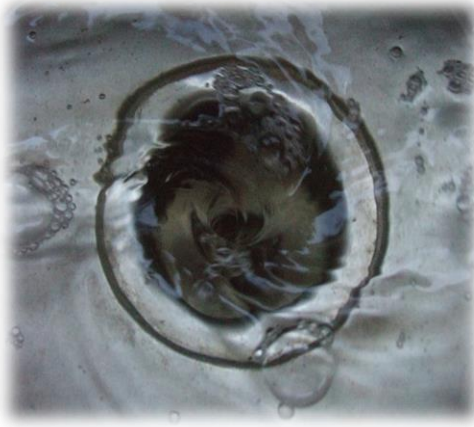
هنالك ظاهرة طريفة يومية تسببها قوة كوريوليس ، لقد استنتجنا سابقاً أن قوة كوريوليس تحرف الأجسام المتحركة نحو يمين اتجاهها الأصلي في نصف الكرة الشمالي حيث تكون قيمة f موجبة ، وتتعدم في خط الاستواء حيث f سالبة ، أما في نصف الكرة الجنوبي تحرفها نحو يسار اتجاهها الأصلي .

⁵ Nasa-activities in planetary geology for the physical and Earth sciences –Coriolis Effect.

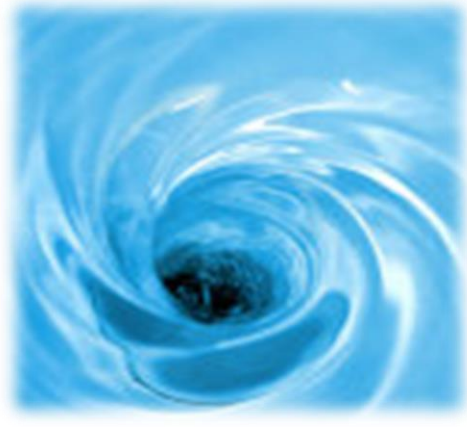


وهذا ما يسبب شعورنا بدوران المياه الخارجة من صنوبر الماء إلى البالوعة عكس عقارب الساعة في نصف الكرة الشمالي ومع عقارب الساعة في نصف الكرة الجنوبي في حين تسقط بشكل مستقيم في المناطق الواقعة على خط الاستواء (ولكن مع الانتباه أن هذا الأثر لن يكون واضحاً جداً فنحن لا نلاحظه جيداً إلا في الانتقال بعيد المدى , ولكن هذا لا ينفي وجوده في هذا المثال البسيط).

لاحظ الصورتين الآتيتين (الشكل 11 - 12) اللتان تبيانان مجرى الماء في منطقتين من العالم الأولى في نصف الكرة الشمالي والأخرى في الجنوبي.



الشكل 12



الشكل 11

..... مسائل على قوة كوريوليس

نود أن نحسب مقدار الانحراف على قذيفة لها مسار قطع مكافئ (تقريباً) والذي تسببه القوة الطاردة وقوة كوريوليس في الجملة الدائرة (الأرض) ,

بداية يجب أن نبدأ بذكر سلسلة من التقريبات في المسألة .

① بداية سوف نركز على منطقة حيث تبدو الأرض وكأنها مسطحة .

② الطريقة الوحيدة لكي نقدر مدى صغر قيم تلك القوى هي بمقارنتها بالقوة المسيطرة وهي القوة الجاذبة المركزية . بالنسبة للقوة الطاردة فإن القيمة الدقيقة للتسارع هي $\frac{\omega^2 \times R_{Earth}}{g} \sim 3.5 \times 10^{-3}$

$10^{-3} \ll 1$ حيث ω هي السرعة الزاوية للأرض , أما بالنسبة لتسارع قوة كوريوليس فهو

$10^{-2} \ll 1$ حيث V_0 هي السرعة الخطية وهي 5000 Km/h (والتي تعتبر



السرعة الكافية لكل أنواع القذائف والطائرات النفاثة) ، والنتيجة من هذه المناقشة أن قيمنا سوف تكون دقيقة جداً .

والآن بعد أن انتهينا من التقريبات سنبدأ بحل المسألة :

أولاً سوف نحدد اتجاه المحاور الاحداثية : المحور Z نحو الأعلى - المحور y نحو الشرق - المحور x نحو الجنوب . في هذه الإحداثيات يمكننا أن نحسب كلاً من السرعة الزاوية للأرض و مركبتي شعاع سرعة القذيفة في مسارها :

$$\vec{\omega} = (-\omega \cos \lambda, 0, \omega \sin \lambda), \quad (1)$$

$$\vec{v}_r = (0, v_0 \cos \alpha, v_0 \sin \alpha - gt). \quad (2)$$

تعطى قوة كوريوليس بالعلاقة : $\vec{F}_{cor} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r$,

ومن الأعلى وجدنا أن :

$$\begin{aligned} \vec{\omega} \times \vec{v}_r &= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -\omega \cos \lambda & 0 & \omega \sin \lambda \\ 0 & v_0 \cos \alpha & v_0 \sin \alpha - gt \end{vmatrix} \\ &= (-v_0 \omega \cos \alpha \sin \lambda, \omega \cos \lambda (v_0 \sin \alpha - gt), -v_0 \omega \cos \alpha \cos \lambda). \end{aligned}$$

ومنه :

$$\vec{a} = (2v_0 \omega \cos \alpha \sin \lambda, -2\omega \cos \lambda (v_0 \sin \alpha - gt), -g + 2v_0 \omega \cos \alpha \cos \lambda), \quad (4)$$

وللملاحظة : الخطأ في قياس زمن الاصطدام بالأرض بين الحقيقة (المحاور الحقيقية) وبين ما قمنا بتمثيله في المسألة صغير جداً ولذلك أهملناه .

من المسار الأساسي نجد أن :

$$x = v_0 t^2 \omega \cos \alpha \sin \lambda, \quad (5)$$

وزمن الطيران هو :

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g - 2v_0 \omega \cos \alpha \cos \lambda} \approx \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

نجد هكذا أن مقدار الانحراف الناتج عن أثر كوريوليس هو :



$$d_{cor} = \frac{4\omega v_0^3}{g^2} \sin^2 \alpha \cos \alpha \sin \lambda. \quad (7)$$

وبنفس الإجراءات يمكننا ان نحسب مقدار الانحراف الذي تسببه القوة الطاردة المركزية والذي لا يعد صغيراً بسبب قيمة السرعة الكبيرة .

$$d_{cen} = \frac{2\omega^2 R_{Earth} v_0^2}{g^2} \sin^2 \alpha \cos \lambda \sin \lambda. \quad (8)$$

المسألة -2-

مرة أخرى لدينا قوة كوريوليس :

$$\vec{F} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}, \quad (9)$$

وباعتبار m هي كتلة الجسم المتحرك , ω هي السرعة الزاوية للجملة المتحركة , و v هي السرعة الخطية في هذه الجملة , أعطيت هذه القيم على الشكل التالي :

$$m = 1300kg \quad (10)$$

$$\vec{\omega} = \frac{2\pi}{24} h^{-1} \hat{z} \quad (11)$$

$$\vec{v} = -100 \frac{km}{h} \hat{\theta} \quad (\text{North}) \quad (12)$$

$$\lambda = 65^\circ N, \quad (13)$$

حيث أن الزاوية 65 هي درجة العرض ونلاحظ أن قيمة f موجبة وبالتالي فالانحراف نحو اليمين وتعطى قيمة القوة بالعلاقة :

$$F = 2m\omega v \sin \lambda = 4.78N. \quad (14)$$



كيف يمكن أن نرى عملياً أثر قوة كوريوليس

يمكننا أن نطبق تجربة بسيطة نرى فيها قوة كوريوليس بشكل مباشر .

ما نحتاجه للتجربة :1- أرضية ورقية قابلة للتدوير مع وعكس عقارب الساعة .

2- أقلام حبر أو رصاص

3-مسطرة

يمكننا عن طريق تحريك هذا القلم على الأرضية أثناء سكونها ومن ثم دورانها أن نمثل بشكل بسيط حركة الأجسام على الأرض.

1-حاول أن ترسم بمساعدة المسطرة خط مستقيم على الأرضية الورقية وهي ساكنة . لاحظ أن الخط الذي رسمته بدا على الورقة خطأ مستقيماً كما تخيلته أن يكون .

بالتالي نستنتج من ذلك غياب هذا الأثر في حالة سكون الجملة المرجعية .

2- والآن دور الأرضية مع عقارب الساعة ثم أغمض عينيك وكرر التجربة السابقة مع الحرص أنك ترسم خطأ مستقيماً .

افتح عينيك الآن , ستلاحظ أن الخط الذي رسمته لم يكن مستقيماً أبداً بل كان منحرفاً إلى يمين اتجاهها الأصلي مع عقارب الساعة .

والآن دور الأرضية عكس عقارب الساعة -وهي جهة دوران الأرض - وكرر العملية ذاتها مرة أخرى ثم لاحظ النتائج :

مجدداً لقد انحرف مسار القلم فلم يعد مستقيماً بل انحرف إلى يسار اتجاهه الأصلي.

النتيجة : الأجسام تنحرف إلى يمين اتجاهها الأصلي في نصف الكرة الشمالي وإلى يسار اتجاهها الأصلي في نصف الكرة الجنوبي

والآن من التجربة السابقة : هل يمكن أن نعطي تعريفاً لقوة كوريوليس؟؟

قوة كوريوليس كما رأينا هي قوة ظاهرية تحرف الأجسام عن مسارها الأصلي وما دفعنا لقول أنها ظاهرية هو انحراف القلم عن مساره بالوقت الذي نظن بالنسبة لنا أنه يتبع



مساراً مستقيماً ,وبالتالي هي انحراف ظاهري يمكننا أن نلاحظه من جملة المرجع الدائرة كالأرض مثلاً.

الخاتمة

والآن بعد أن عرضنا هذه الدراسة عن كوربوليس هل باستطاعتنا أن نطلق عليها قوة أم لا؟؟
لربما بعضنا سوف يقول: بالطبع لا فكيف لها أن تكون قوة وهي لا تغير بسرعة الجسم أبداً وهذا ما
برهناه بالعلاقات الرياضية في المحور الثاني من الفصل الأول.

والبعض الآخر سيؤكد على أنها قوة , وما يثبت ذلك هو أن لها تسارع يحدو بالعلاقة $2\Omega \times \mathbf{u}$

برأيي أن كوربوليس ليست قوة وإنما يمكننا أن نطلق عليها كاسم ملاءم "أثر كوربوليس" والذي ينتج عن دوران
الأرض أما بالنسبة للعلاقات الرياضية فهي تبين وجود **انحراف نسبي** للجسم أثناء حركته على جملة تدور بحركة دورانية
ففسدنا سبب هذا الانحراف على أنه قوة تدعى بقوة كوربوليس . ولكن كما قلنا فإن هذا الانحراف نسبي لا يمكن أن
نعلمه على كل الجمل المرجعية وإنما هو شعور المراقب على هذه الجملة الدائرة بالانحراف فقط لا أكثر .

وبالنهاية كوربوليس لم يكن عالم فيزياء وإنما كان رياضياً فسر لنا ما يراه من خلال معادلاته الرياضية



..... المصادر والمراجع

❧1❧ *physics for scientists and engineers –with modern physics-(serway-jewet).*

❧2❧ *Nasa-activities in planetary geology for the physical and Earth sciences –Coriolis Effect.*

❧3❧ *James F. Price – Coriolis effect -10 January 2006.*

❧4❧ *Karlstads University, faculty of science (FYGC04)
Analytic Mechanic -Coriolis Effect & -Foucault pendulum*

