المركز الوطني للمتميزين
NATIONAL CENTER FOR THE DISTINGUISHED
/NCDSyria

حلقة بحث بعنوان:

Ocean Tides

تقدمة الطالب: أحمد مصطفى

اشراف الاستاذ: محمود نوح

الصف: الثالث ثانوي

المادة: فيزياء

العام:2016-2017

الفهرس:

- الفهرس 2
- جدول الصور 3
- جدول المعادلات 4
- المقدمة 6
- اشكالية البحث 6
- تساؤلات البحث 6
- الباب الأول: دراسة عامة لظاهرة المد و الجذر 7
- الفصل الأول: تأثير القمر على المد والجذر و التفسير الرياضي لها 7
- الفصل الثاني: المد و الجذر، أنواعه و مسبباته 11
- الباب الثاني: تأثيرات المد و الجذر على حركة الأرض 19
- الفصل الأول: حساب العزم الدوراني لجملة الارض و القمر 19
- الفصل الثاني: حساب الزمن الذي سوف يتوقف فيه تأثير المد و الجذر 20
- الخاتمة 23
- التوصيات و المقترحات 24
- جدول الثوابت الفيزيائية 24
- المراجع 25

جدول الصور:

الرقم	الشرح	الصفحة
١	تيارات امواج المد و الجذر القوية	٦
٢	طبقة المياه فوق سطح البحر و شكل ظاهرة المد و الجزر	٧
٣	الأرض و القمر و مواقعهما بالنسبة للاحداثيات في الفراغ	٨
٤	تمثيل قطبي للأرض و جهة قوة المد و الجذر في مناطق معينة من سطح الأرض	٩
٥	جهات قوى المد و الجذر عند نقاط مختلفة من سطح الأرض	١٠
٦	انحراف الـ(high tides axis) عن المحور أرض–قمر	١١
٧	تمثيل نيوتن للبئرين المتعامدين لحساب اكبر تغير في ارتفاع المياه	١٢
٨	صورة لجهاز حساب تغيرات المد و الجذر	١٣
٩	الكوخ الحامي للجهاز على السواحل	١٣
١٠	مراحل المد و الجذر بالنسبة لمواقع كل من القمر و الشمس بلنسبة للأرض	١٥
١١	أنواع أمواج المد والجذر حيث أن المحور الشاقولي يمثل ارتفاع المياه أو انخفاضه بالنسبة للارتفاع الأساسي للمياه و المحور الأفقي يمثل الزمن	١٦
١٢	انتشار أمواج المد و الجذر على السواحل الأرضية	١٧
١٣	النظام أرض–قمر في الفضاء	١٩
١٤	القوى التي تعلم على تبطيء حركة الأرض	٢١
١٥	جدول يبين اختلاف دور ظاهرة المد و الجذر تبعاً لنوع الأمواج في منطقة معينة من سطح الأرض	٢٣

جدول المعادلات:

الرقم	الشرح	الصفحة
١	محصلة القوة على كتلة عنصرية من سطح الماء للأرض	٨
٢	القوة المطبقة على الأرض من قبل القمر	٨
٣	حساب تسارع الجاذبية بالنسبة للأرض و القمر	٨
٤	العبارة الشعاعية لقوة المد و الجذر	٨
٥	علاقة قوة المد والجذر عند أبعد نقطة على الأرض من القمر	٩
٦	العلاقة التقريبية للقوة عند أبعد نقطة	٩
٧	علاقة قوة المد و الجذر عند أعلى الكرة الأرضية عندما تعامد شعاع الموضع مع المحور أرض–قمر	٩
٨	علاقة قوة المد و الجذر كتابع للأحداثيات على محور الفواصل	١٠
٩	علاقة قوة المد و الجذر كتابع للأحداثيات على محور التراتيب	١٠
١٠	العمل الازم لرفع المياه الى أعلى نقطة حسب نيوتن	١٢
١١	العمل الازم لرفع المياه الى أعلى نقطة حسب نيوتن بعد تعويض علاقات القوى	١٢
١٢	العلاقة النهائية للعمل كتابع لنصف قطر الأرض و البعد بين أأرض و القمر	١٢
١٣	الربط بين حسابات النيوتن و الحسابات الكلاسيكية للعمل	١٣
١٤	العلاقة اللنهائية لأعلى ارتفاع للمد و الجذر مسبب من قبل القمر	١٣
١٥	العلاقة اللنهائية لأعلى ارتفاع للمد و الجذر مسبب من قبل الشمس	١٤
١٦	النسبة بين ارتفاع الأعلى المسبب من القمر و الشمس	١٤
١٧	العلاقة التي تعبر عن انحفاظ كمية حركة الأمواج في المياه الضحلة	١٧
١٨	العلاقة التي تعبر عن انحفاظ الكتلي (الاستمرارية)	١٧
١٩	علاقة العزم الحركي الكلي للنظام أرض–قمر	٢٠
٢٠	العزم الحركي لدوران الأرض حول مركز الكتلة C	٢٠
٢١	البعد بين مركز الكتلة للقمر والأرض و مركز الأرض	٢٠
٢٢	العزم الحركي لدوران االقمر حول مركز الكتلة C	٢٠

٢٠	السرعة الزاوية لدوران اقمر حول الأرض فب الوقت الحاضر	٢٣
٢٠	العزم الحركي الدوراني للأرض حول محورها	٢٤
٢٠	السرعة الزاوية لدوران الأرض حول محورها	٢٥
٢٠	العزم الحركي الدوراني للقمر حول محورها	٢٦
٢٠	قيمة العزم الحركي الكلي للقمر و الأرض حول مركز كتلتيهما	٢٧
٢٠	قانون كبلر الثالث	٢٨
٢١	العزم الحركي المداري للنظام أرض–قمر	٢٩
٢١	العزم الحركي الكلي للنظام بإهمال العزم الدوراني للقمر بدلالة السرعة الزاوية	٣٠
٢١	علاقة عزم قوة الاحتكاك الناتجة من المد و الجذر بأخذ البعد بين الأرض و القمر بعين الاعتبار	٣١
٢١	علاقة عزم قوة الاحتكاك عند تساوي السرع الزاوية للأرض و القمر	٣٢
٢٢	العزم بدلالة معدل تغير السرعة الزاوية لدوران للأرض حول نفسها مضروبة بعزم العطالة	٣٣
٢٢	العلاقة بين عزم قوة الاحتكاك و معدل تغير العزم الدوراني للأرض و القمر	٣٤
٢٢	علاقة العزم الحركي الدوراني بدلالة السرعة الزاوية فقط لدوران الأرض حول نفسها	٣٥
٢٢	العلاقة بين عزم الاحتكاك و السرعة الزاوية للأرض	٣٦
٢٢	حساب عزم الاحتكاك في الوقت الحالي	٣٧
٢٢	العلاقة بين السرعة الزاوية و البعد بين الأرض و القمر فقط	٣٨
٢٢	علاقة التغير للعزم الحركي الدوراني مع تعويض البعد بين الأرض و القمر من قانون كبلر الثالث	٣٩
٢٢	علاقة معدل تغير السرعة الزاوية بالسرعة الزاوية لدوران القمر حول الأرض	٤٠
٢٣	حساب الزمن الذي سيصبح عنده القمر ثابتا بالنسبة للأرض	٤١

المقدمة:

الشكل (١): تيارات امواج المد و الجذر القوية.

لطاما كانت ظاهرة المد و الجزر محط اهتمام الإنسان و العلماء منذ القدم ، حيث حاول الكثير من العلماء تفسير هذه الظاهرة ، و وضع العلاقات الرياضية التي تصف هذه الظاهرة و من هؤلاء العلماء برز العالم غاليليو الذي حاول أن يفسر هذه الظاهرة و لكنه فشل في حساب دور هذه الظاهرة خلال اليوم الواحد ثم جاء بعده نيوتن ليعطينا تفسير جيد لهذه الظاهرة باستخدام بعض التقريبات و تطبيق قوانين الجاذبية التي كان أول من اكتشفها ، ثم جاء العديد من العلماء الذين وضعوا نظريات و أفكار مدهشة حول هذه الظاهرة كما وجد الانسان العديد من التطبيقات للاستفادة من طاقة المد و الجزر في مجالات مختلفة كالزراعة و الاقتصاد و .....الخ، و بالتعريف نصف ظاهرة المد و الجذر على أنها ارتفاع مستوى البحر و انخفاضه في مناطق معينة من سطح الأرض و يعود ذلك الى جاذبية القمر التي تؤثر على مستوى مياه مما يؤدي الى تشكيل أمواج تنتقل في البحر بشكل افقي فتسمى هذه الأمواج بتيار المد و الجذر (tidal current) حتى تصل هذه الأمواج الى الساحل فتسمى عندها بال(flood current) و الأمواج المبتعدة عن الساحل تسمى الـ(ebb current) و تتفاوت سرعة الأمواج بين داخل المحيط و بقرب الالساحل حيث ان سرعة الأمواج داخل المحيط تكون بطيئة نسبيا أما عند الساحل تصل الى عدة كيلو مترات في الساعة و منه سوف نتعرف الى هذه الظاهرة و ندرس كل بارامتراتها .

اشكالية البحث:

هل تعود ظاهرة المد و الجذر الى جاذبية القمر فقط أم أكثر ، ما هو ما هو الزمن بين كل حدثي مد و جزر في نقطة واحدة من سطح الأرض و هل هو ثابت دائما مهما كان موقع تلك النقطة من سطح الأرض، و هل من تأثير مستقبلي لهذه الظاهرة على حركة الأرض وإذا وجد فمتى ؟؟؟؟؟

تساؤلات البحث:

١- ما هي العلاقات الرياضية التي تصف هذه الظاهرة؟
٢- ما هو دور المد و الجزر لنقطة واحدة من سطح الأرض؟
٣- ما هو أكبر ارتفاع لمنسوب المحيط عند حادثة المد و ما طرق حسابها ؟
٤- ما هي أنواع امواج المد و الجذر ؟

الباب الأول:

دراسة عامة لظاهرة المد و الجزر

الفصل الأول: تأثير القمر على المد والجذر و التفسير الرياضي لها.

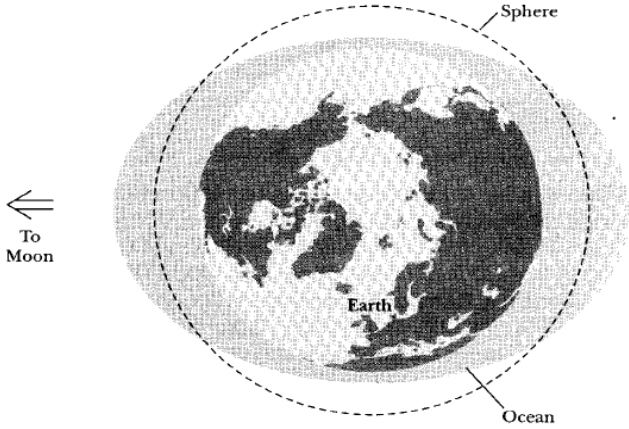
تبين للعلماء أن أسباب ظاهرة المد و الجزر تعود الى جاذبية القمر و الشمس و لكن كان أكثرها تأثيرا جاذبية القمر لذلك سوف ندرس هذا التأثير و نوجد العلاقات الرياضية التي تصف هذه الظاهرة، و لكن أولا علينا وضع بعض الفرضيات التي تسهل عملية الدراسة لأنها معقدة جدا ، وهي كالتالي :

١- نفرض أن الأرض جسم متجانس و كروي .

٢- تدور الأرض و القمر حول مركز كتلتهما و يدوران كلاهما حول الشمس.

٣- دور القمر حول الأرض يساوي الزمن اللازم ليدور دورة كاملة حول نفسه.

٤- تشكل المحيطات طبقة ذات سخانة معينة فوق سطح تالأرض كما في الشكل(٢).



الشكل(٢):طبقة المياه فوق سطح البحر و شكل ظاهرة المد و الجزر

مما سبق نلاحظ من شكل حركة القمر حول الأرض مع الفرضية الرابعة أن المياه سوف تنفر بعكس جهة القمر من الجهة أبعد منه و تنجذب الى القمر من الجهة الأخرى كما في الشكل (٢).

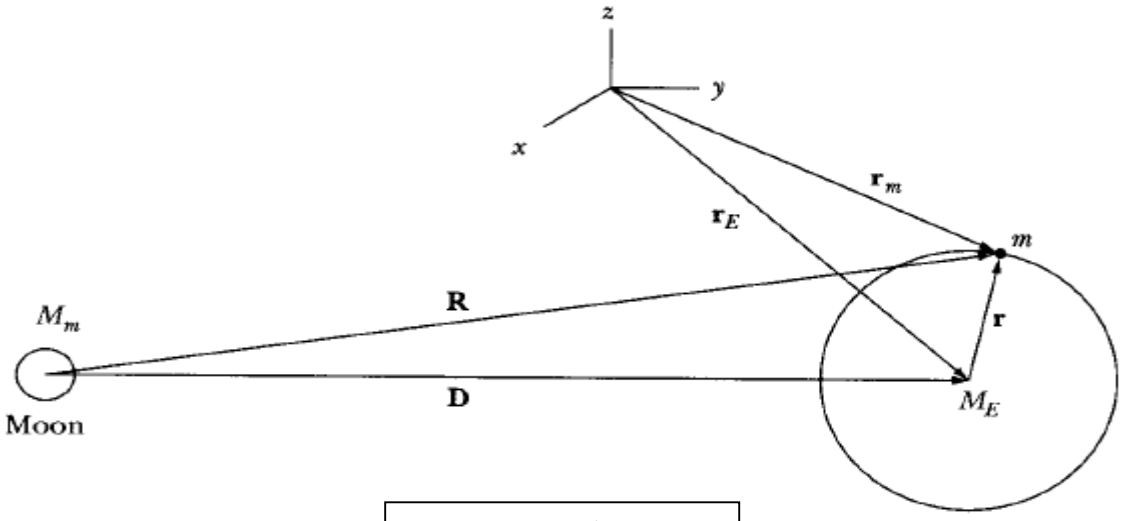
وهنا سوف نأخذ تأثير جاذبية القمر فقط ثم سوف نتطرق الى المسببات الأخرى ، وسوف نفرض أن الأرض كروية و مغطاة بالماء كليا ثم سوف نتحدث عن أثر الحركة الدورانية للأرض ، و سوف نأخذ الاحداثيات المرجعية $x\ y\ z$ كما هو مبين في الشكل (٣) ، و لتكن M_m كتلة القمر و M_E كتلة الأرض و r نصف قطر الأرض D المسافة بين مركز الأرض و مركز القمر ، و نأخذ تأثير كل من جاذبية الارض و القمر على كتلة عنصرية m من طبقة المياه على محيط الأرض و كما هو موضح في الشكل (٣) ، و شعاع الموضع للكتلة mعن مركز القمر هو R و من مركز الأرض r ، و من مركز الاحداثيات المرجعيةr_m ، و شعاع الموضع لمركز الأرض من الاحداثيات الموضعية r_E و من قوانين نيوتن نلاحظ أن القوة المطبقة على الكتلةm :

[1] Stephen T. Thornton and Jerry B. Marion-Classical-Dynamics-of-Particles-and-Systems-5th-Ed- pp, 198.

$$1 \quad m\ddot{r_m} = -\frac{GmM_E}{r^2}e_r - \frac{GmM_m}{R^2}e_R$$

و كذلك القوة المطبقة على الأرض من قبل القمر هي :

$$2 \quad M_E\ddot{r_E} = -\frac{GM_EM_m}{D^2}e_D$$



الشكل (٣): الأرض و القمر و مواقعهما

نحن نريد حساب التسارع $\ddot{r}$ كما هو مقاس بالنسبة الى مركز الأرض ، و منه نجد :

$$3 \quad \ddot{r} = \ddot{r_m} - \ddot{r_E} = \frac{m\ddot{r_m}}{m} - \frac{M_E\ddot{r_E}}{M_E}$$

$$= -\frac{GM_E}{r^2}e_r - \frac{GM_m}{R^2}e_R + \frac{GM_m}{D^2}e_D$$

$$= -\frac{GM_E}{r^2}e_r - GM_m(\frac{e_R}{R^2} - \frac{e_D}{D^2})$$

و هنا نلاحظ أن الحد الأول من المعادلة هو نتيجة جاذبية الأرض أم الحد الثاني فهو التسارع الناتج من قوة جاذبية القملا التي تسمى في هذه الحالة (Tidal force) التي تسبب ظاهرة المد و الجذر و التي تكون ناتجة من الفرق بين جاذبية القمر في مركز الأرض و سطحها.

و بعد ذلك سوف نوجد تأثير قوة المد و الجذر على نقط مختلفة من سطح الأرض كما هو مبين في الشكل (٤) حيث يبين الأرض في الاحداثيات القطبية بحيث تكون :[٢]

$$4 \; F_T = -GmM_m(\frac{e_R}{R^2} - \frac{e_D}{D^2})$$

نأخذ أولا النقطة a التي هي أبعد نقطة من سطح الأرض عن القمر، و كلا أشعة الوحدة e_R و e_D يتجهان مبتعدين عن القمر وفق المحور x ، لأن $R > D$ فأن القوة كلها موجودة على محور x و تكون بالجهة الموجبة كما هو مبين بالشكل(٤) ، و من أجل النقطة b تكون

[2] Stephen T. Thornton and Jerry B. Marion-Classical-Dynamics-of-Particles-and-Systems-5th-Ed- pp, 200.

$R > D$ و هنا تكون القيمة العددية للقوة تساوي تلك التي عند النقطة a و لكن تخالفها بالجهة لأن $\frac{r}{D} \ll 1$ ،

و قيمة القوة عندها هي :

$$5\ F_{T_x} = -GmM_m\left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{D^2}\right) = -GmM_m\left(\frac{1}{(D+r)^2} - \frac{1}{D^2}\right)$$

$$= -\frac{GmM_m}{D^2}\left(\frac{1}{(1+\frac{r}{D})^2} - 1\right)$$

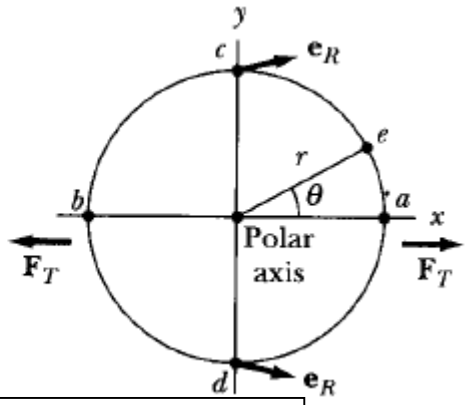
ثم ننشر الاجزء الثاني من المعادلة (5) باستخدام علاقة نشر المعادلة $(1+x)^{-2}$ و بما أن $\frac{r}{D} \ll 1$ ينتج لدينا :

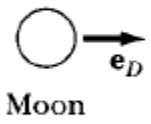
$$6\ F_{T_x} = -\frac{GmM_m}{D^2}\left[1 - 2\frac{r}{D} + 3\left(\frac{r}{D}\right)^2 - \cdots - 1\right] = +\frac{2GmM_m r}{D^3}$$

و عند النقطة c لا يكون شعاع الوحدة e_R بجهة e_D تماما ، و بما أن $R \approx D$ فإن مركبات كل من e_R و e_D متساوية على محور X ، و هنا يكون لe_R مركبة على محور Y حيث تقرب الى $\frac{r}{D}$ ، فتكون قوة المد و الجذر المؤثرة في النقطة c التي ندعوها F_{T_y} و التي تكون على المحور Y كما يلي:

$$7\ F_{T_y} = -GmM_m\left(\frac{1}{D^2}\frac{r}{D}\right) = -\frac{GmM_m r}{D^3}$$

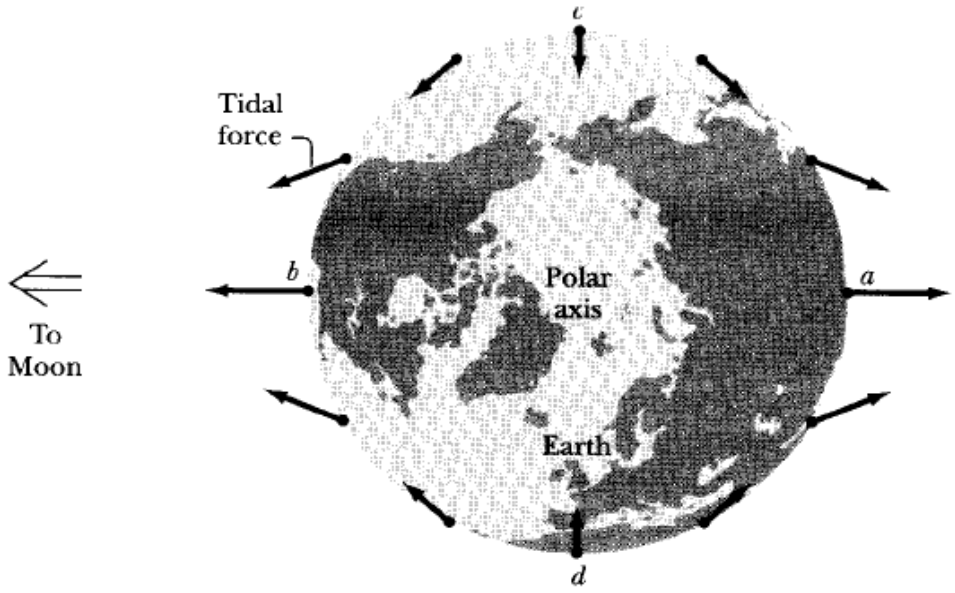
مع الملاحظة على أن قوة المد و الجزر هنا هي بعكس جهة المحور y نحو مركز الأرض عند النقطة c ، و عند النقطة d نلاحظ أن قيمة القوة هي نفسها عند c و لكن تخالفها بالاشارة ، و توضح جهة القوى في الشكل(٥) .





الشكل (٤): تمثيل قطبي للأرض و جهة قوة المد و الجذر في مناطق معينة من سطح الأرض

[3] Stephen T. Thornton and Jerry B. Marion-Classical-Dynamics-of-Particles-and-Systems-5th-Ed- pp, 202.



الشكل(٥): جهات قوى المد و الجذر عند نقاط مختلفة من سطح الأرض.

و من الممكن أيضا تحويل الحسابات من الاحداثيات القطبية الى الاحداثيات الديكارتية ، بحيث تصبح العلاقة بالاحداثيات الديكارتية كالتالي :

$$8\ F_{T_x} = \frac{2GmM_m x}{D^3}$$

$$9\ F_{T_y} = -\frac{GmM_m y}{D^3}$$

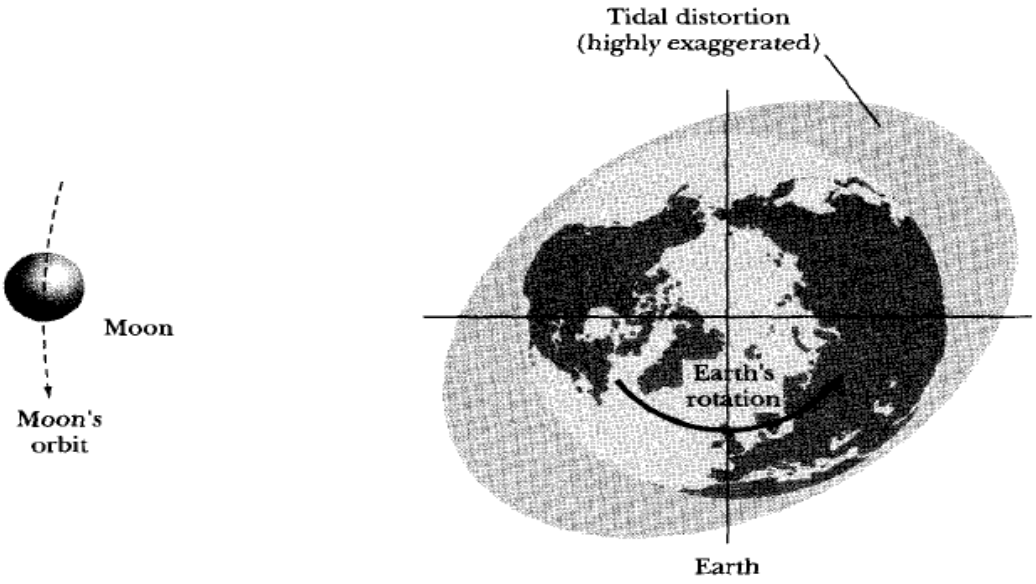
حيث أن $x = r\cos\theta$ و $y = r\sin\theta$ و منه نستنتج أن

$$F_{T_x} = \frac{2GmM_m r cos\theta}{D^3}$$

$$F_{T_y} = -\frac{GmM_m r sin\theta}{D^3}$$

و مما سبق نرى أن المستقيم الواصل بين نقطي المد الأعلى أو كما يسمى بـ(Tides axis) يكون مسايرا للمحور الواصل بين مركزي الأرض و القمر و لكن في الحقيقة هذا ليس صحيحا ، حيث أن هذا المحور ينحرف عن المحور الأرض–قمر بزاوية δ ، و يعود ذلك الى اختلاف سرعة دوران الأرض حول نفسها و القمر حول الأرض كما لأن مدار دوران القمر حول الأرض ليس عموديا تماما على محور دوران الأرض ، مما يؤدي الى تشكل موجات عالية من المد بقيم مختلفة في كل نقطة من سطح البحر ، و كذلك من الاحتكاك بين طبقة المياه و الأرض و هذا مبين في الشكل (٦) .[٤]

[4] Stephen D. Griffiths – THE LONG AND SHORT OF GLOBAL MODELLING OF OCEAN TIDES – Department of Applied Math, University of Leeds, U.K, PP, 7.



الشكل (٦):انحراف الـ(high tides axis) عن المحور أرض-قمر.

و لحساب كل متى تحدث أكبر موجة مد (tidal distortion) علينا معرفة أن زمن اكمال دورة كاملة للقمر حول الأرض هو 27.3 يوم أما زمن دورة كاملة للأرض حول نفسها تبلغ 24 ساعة و بما أن جهو دوران القمر بنفس جهة دوران الأرض حول نفسها اذا نستنتج أن السرعة الزاوية النسبية للمحور الواصل بين مركز الأرض و القمر تكون حاصل طرح السرعة الزاوية لدوران الأرض حول نفسها من السرعة الزاوية لدوران القمر حول الأرض ومنه نستنتج أن:

$$\frac{1}{2T} = \frac{1}{T_E} - \frac{1}{T_M}$$

حيث أن T_E هو دور حركة الأرض حول نفسها و T_M هو دور حركة القمر حول الأرض و بالتعويض نستنتج أن دور ظاهرة المد في نقطة واحدة من الأرض هي :[5]

$$T \approx 12\ hours.27\ minutes$$

الفصل الثاني: المد و الجذر، أنواعه و مسبباته.

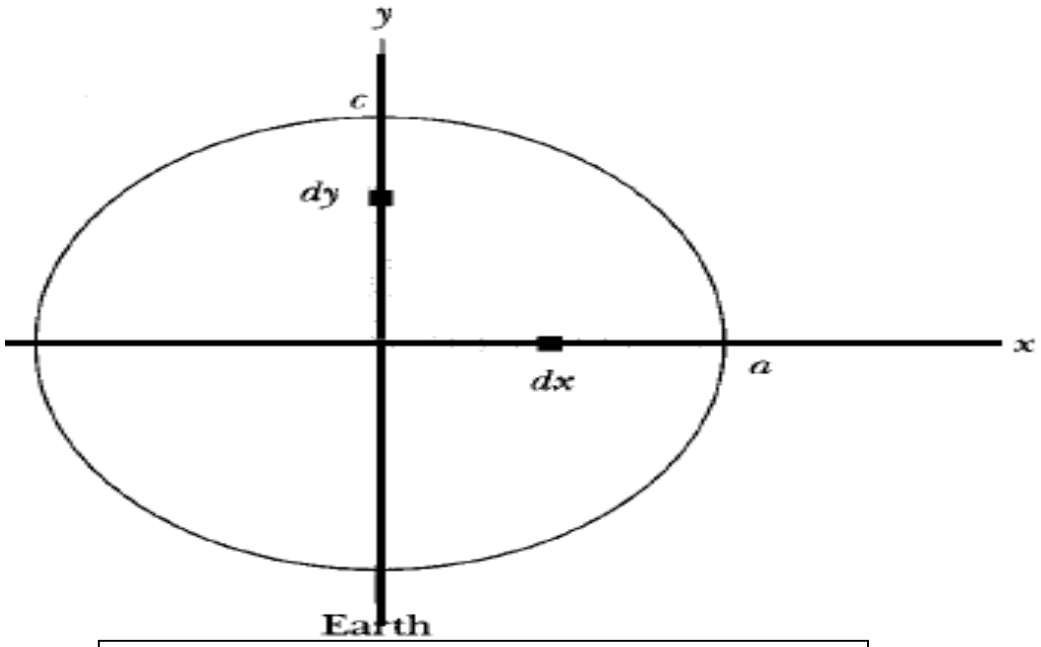
من الفصل السابق لاحظنا أنه للقمر دور رأيسي في تشكيل ظاهرة المد و الجذرو لكن هنا سوف نكتشف وجود مؤثرات أخرى ، حيث أجرى العلماء الكثير من التجارب التي ساعدتهم عل اثبات أن للمد و الجذر أسباب و مؤثرات أخرى غير القمر، حيث اننا سوف نذكر هذه التجارب و نقارن النتائج العملية لهذه التجارب مع النتائج النظرية من الدراسة في الفصل السابق ، و سندرس أيضا مراحل المد و الجذر في مواقع مختلفة للقمر و الشمس أيضا.

[5] Dr. Cheryl Ann Blain –TIDAL HYDRODYNAMICS AND MODELING – Naval Research Laboratory – Stennis Space Center, MS, USA – 2-13 january , 2013.pp, 16.

بداية سوف ندرس أعلى ارتفاع للمياه في نقطة ما من المحيط اعتمادا على المعادلات في الفصل الأول:

يوجد طريقتين لحساب أعلى تغير لارتفاع الماء اعتمادا على طريقة نيوتن حيث أفترض وجود بئرين محفورين ، واحد منهما محفور على طوال محور الفواصل و الأخر على طول محور التراتيب أو بشكل أخر احدهما محفور بجهة الجذر الأصغر و الأخر بجهة المد الأكبر كما هو موضح بالشكل (٧) ، اذا تغير ارتفاع الماء بمقدار h فإن التغير بالطاقة الكامنة لكتلة عنصرية m من المياه على السطح ستكون m g h ، لذا لنحسب تغير العمل اثر هذا التغير ، حيث اذا نقلنا الكتلة m من النقطة c في الشكل (٧) الى مركز الأرض ثم من مركز الأرض الى النقطة a سيكون عمل قوة الجاذبية مساوي للتغير في الطاقة الكامنة m g h و عندها سيكون العمل w ممثل في العلاقة التالية : [٦]

$$10\ W = \int_{r+\delta_1}^{0} F_{T_y} dy + \int_{0}^{r+\delta_2} F_{T_x} dx$$



الشكل (٧):تمثيل نيوتن للبئرين المتعامدين لحساب اكبر تغير في ارتفاع المياه.

حيث أننا سنستخدم قوى المدو الجذر من المعادلة رقم 8 و 9 ، حيث أن الرموز δ_1 و δ_2 تمثل التغيرات الطفيفة في الارتفاع الناتجة عن عدم تجانس كروية سطح الأرض ، و لكنها صغيرة جدا مقارنة بنصف قطر الأرض لذلك يمكننا اهمالها و بذلك تصبح علاقة العمل:

$$11W = \frac{GmM_m}{D^3}\left[\int_{r}^{0} -ydy + \int_{0}^{r} 2xdx\right]$$

و منه بحل التكامل المحدد السابق تصبح العلاقة النهائية للعمل هي:

$$12\ W = \frac{3GmM_m r^2}{2D^3}$$

و بما أن هذا العمل يساوي m g h يصبح لدينا:

[6] Stephen T. Thornton and Jerry B. Marion-Classical-Dynamics-of-Particles-and-Systems-5th-Ed- pp, 203.

$$13\ mgh = \frac{3GmM_m r^2}{2D^3}$$

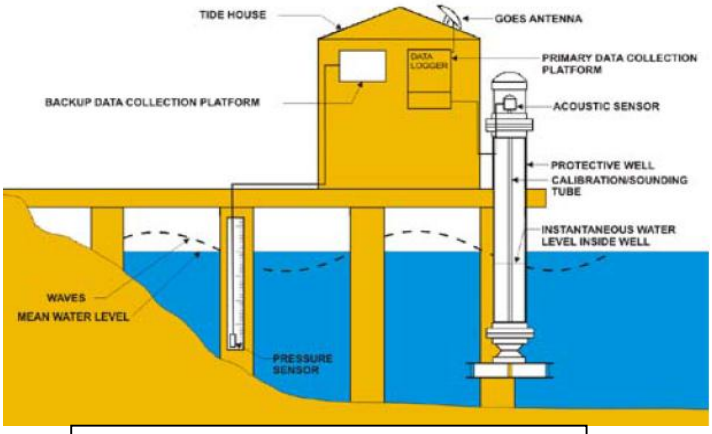
$$14\ h = \frac{3GM_m r^2}{2gD^3}$$

و ننوه هنا الى أن الكتلة m تختصر من الطرفين و منه نستنتج أن الأرتفاع غير متعلق بالكتلة للمياه و لا حتى على نوع المادة و اذا عوضنا بالقيم المعروفة نستنتج قيمة الارتفاع حيث أن $G = 6.67 \times 10^{-11} m^3/kg \times s^2$ و $M_m = 7.35 \times 10^{22} kg$ و $D = 3.84 \times 10^8 m$ و $g = 9.8\ m\ s^{-2}$ [7] و بتعويض نجد أن :

$$h = 0.54\ m$$

بعد إجراء الحسابات النظرية سنطرق الى القرائات التي سجلتها أحدث الأجهزة لقياس ارتفاع المياه على السواحل كذلك الجهاز المبين في الشكل(٨) الذي يسمى بـ(water level meteorogical sensor)حيث أنه يعتمد على صدى الصوت باصدار موجة صوتية الى الأسفل ثم يحسب الزمن اللازم لعودة الصوت من قاع مياه على عكس الأجهزة القديمة التي تعتمد على ميكانيكية الأمواج الغير دقيقة ، و يوضع هذا الجهاز على احدى السواحل في كوخ خاص لحمايته من الظواهر الطبيعية كالأعاصير و الأمواج القوية و تكون كما مبينة في الشكل :(٩)

الشكل(٨): صورة لجهاز حساب تغيرات المد و الجذر



الشكل(٩): الكوخ الحامي للجهاز على السواحل

كما أن هذا الجهاز لا يقوم بحساب ارتفاع المياه فقط بل أنه يقوم بحساب تغيرات درجة حرارة المحيط و الهواء و سرعة الرياح و جهتها و كذلك سرعة أمواج البحر و جهتها و ضغط الجو كذلك و يأخذ القرائات كل ستة دقائق ، و يقوم بحفظ البيانات و ارسالها الى الأقمار الصناعية ثم الى مراكز البحث أو قاعدة الأرصاد و بذلك يستخدم أيضا بالتنبؤ بالأعاصير و غيرها من الظواهر الاطبيعية ، و باستخدام هذا المقياس تم اكتشاف أن أعلى قيمة لظاهرة المد بلغت الخمسة عشر مترا في (Nova Scotia) المقاسة في عام ١٩٩٤ بعد الميلاد،

[7] Stephen T. Thornton and Jerry B. Marion-Classical-Dynamics-of-Particles-and-Systems-5th-Ed- pp, 203.

[8] NOAA National Ocean Service Education: Tides and Water Levels http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/welcome.html -26/9/2007, pp,25 .

على عكس تكساس و شمال كارولينا على الرغم من وجودهم على سواحل مع المحيط الهادي ، ومن ذلك نلاحظ الفرق الشاسع بين أعلى موجة مد نظريا و أعلى موجة مد مقاسة على أرض الواقع ، فنستنتج من ذلك و جود مؤثرات أخرى غير القمر على أمواج المد و الجذر كموقع الأرض و القمر و شكل الساحل و عمق المياه أيضا و كذلك اللرياح و سرعتها التي تؤدي الى ابعاد المياه من خط الساحل و من الممكن أيضا أن تساعد الرياح بجر المياه الى السواحل أحيانا كما حدث في (Nova Scotia) عام ١٩٩٤ ، كما من الممكن للضغط الجوي أن يؤدي لارتفاع مستوى المياه أو انخفاضه حيث في الضغط العالي يؤدي الى ارتفاع مستوى المياه أما في الضغط المنخفض ينزل مستوى المياه .[٩]

قد تبين أيضا أن للشمس تأثير كبير على ظاهرة المد و الجذر و يعود ذلك الى دوران الأرض حول الشمس و جاذبية الشمس للأرض و لكن تأثيرها سيكون أقل لأن المسافة بين الأرض والشمس أكبر بكثير من المسافة بين الأرض و القمر و لإيجاد النسبة بين التأثيرين ، معادلة أعلى تغير في مستوى البحر خلال ظاهرة المد هي :

$$15\ h_1 = \frac{3GM_s r^2}{2gD_{ES}{}^3}$$

حيث ان M_s هي كتلة الشمس ، و D_{ES} هي المسافة بين الأرض و الشمس و بتقسيم علاقة أعلى ارتفاع الناتج من القمر h على h_1:

$$16\ \frac{h}{h_1} = \frac{\frac{3GM_m r^2}{2gD^3}}{\frac{3GM_s r^2}{2gD_{ES}{}^3}} = \frac{M_m}{M_s}\left[\frac{D_{ES}}{D}\right]^3$$

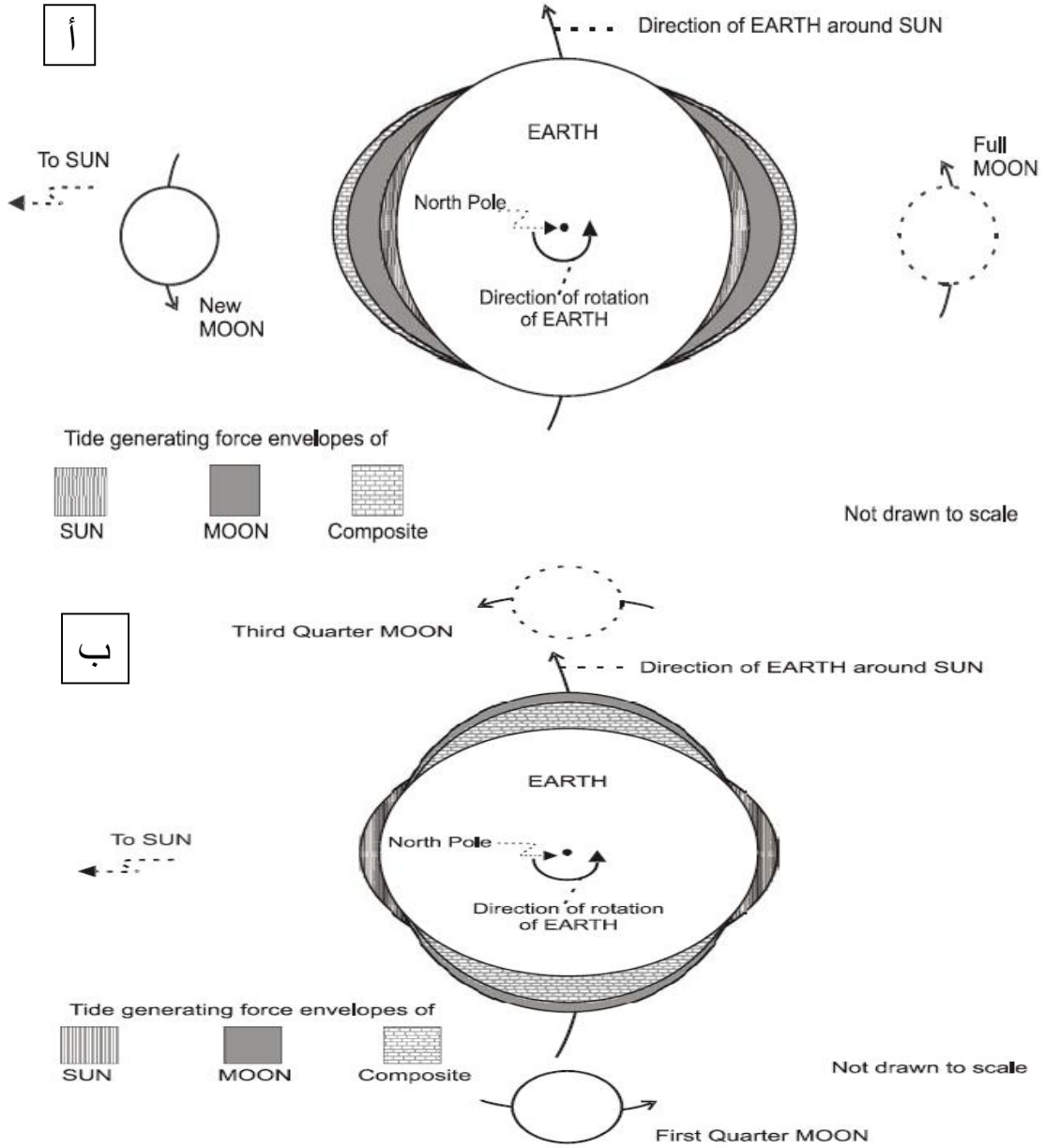
و بالتعويض بالقيم المعروفة يصبح لدينا :

$$\frac{h}{h_1} = \frac{7.35 \times 10^{22} kg}{1.993 \times 10^{30} kg}\left(\frac{1.495 \times 10^{11} m}{3.84 \times 10^{8} m}\right)^3 \approx 2.2$$

و هنا نلاحظ أن تأثير القمر أكبر بضعفين تقريبا من تأثير الشمس وكما ذكرنا سابقا أن لموقع الأرض و القمر على مدارهما دور في تغيرات مستوى المياه حيث نتيجة تلك التغيرات في المدار و المواقع للقمر و الشمس بالنسبة للأرض و أيضا تغير المسافات بما أن مدار الأرض يشكل قطع ناقص حول الشمس و كذلك القمر له مدار قطع ناقص حول الأرض و نتيجة هذه التغيرات نميز قسمين لظاهرة المد و الجذر:المد و الجذر الربيعي (spring tides) حيث يحدث أكبر ارتفاعه لمستوى المياه عنده أو أخفض ارتفاع و يحدث ذلك عند الظهور الكامل للقمر أو الختفاء الكامل له و بشكل أخر عند وقوع الأرض و الشمس و القمر على استقامة واحدة كما هو موضح في الشكل(١١)-أ، و

[9] NOAA National Ocean Service Education: Tides and Water Levels
http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/welcome.html -26/9/2007, pp,31 .

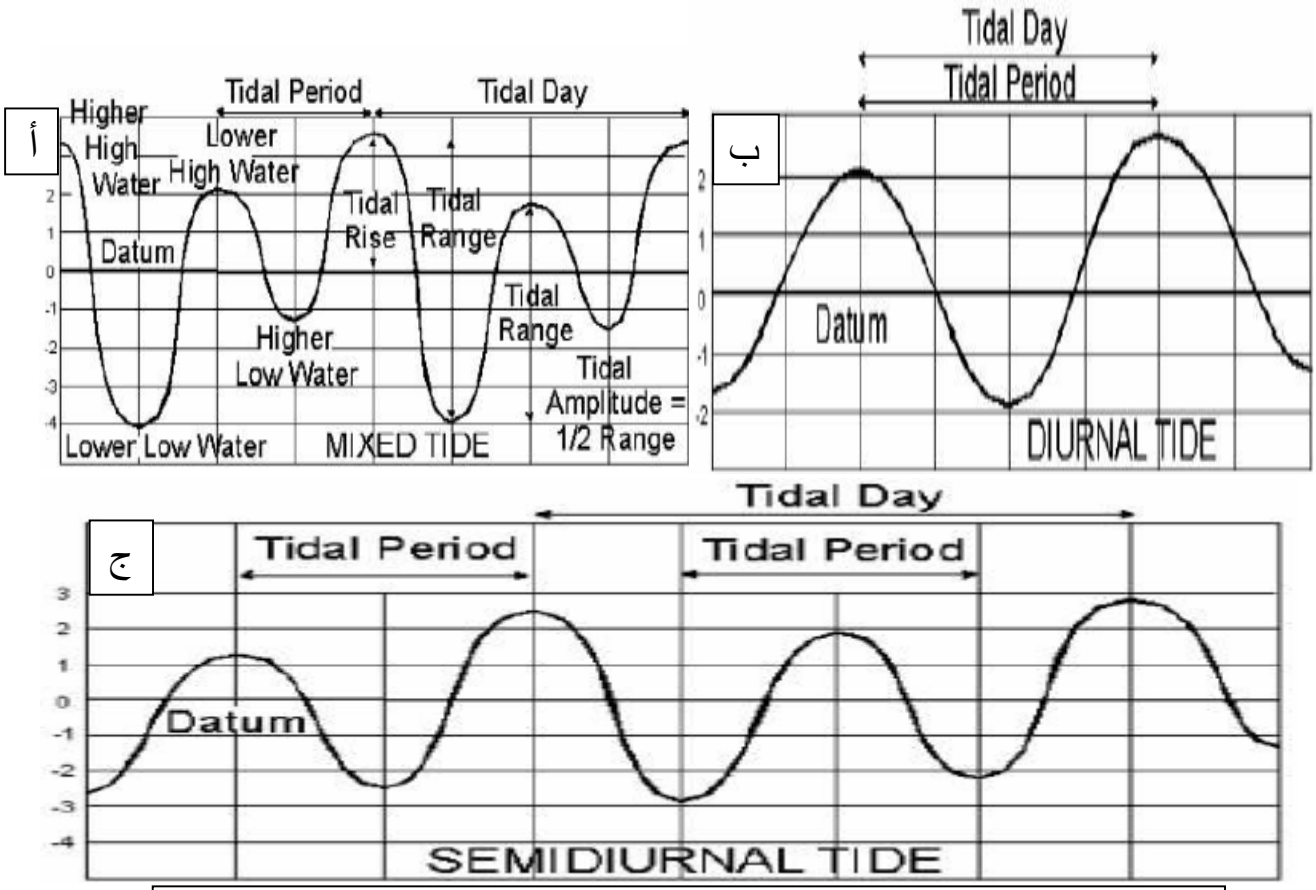
النوع الأخر هو (neap tides) حيث يكونا المحورين أرض–قمر و أرض–شمس متعامدين تقريبا في الفراغ أو بشكل آخر عند االربع الأول من القمر و الربع الثالث أيضا ،كما هو موضح في الشكل (١١)–ب .[1]



الشكل(١١): مراحل المد و الجذر بالنسبة لمواقع كل من القمر و الشمس بلنسبة للأرض

[1] Steacy Dopp Hicks physical oceanographer – UNDERSTANDING TIDES – December 2006, pp 12.

لو كانت الأرض كرة متجانسة لكانت كل المناطق على الأرض مرت بمراحل المد الأعلى و الجذر الأخفض كل يوم قمري واحد و لكن مع وجود التعاريج الكبيرة على الأرض يصبح دراسة هذه الظاهرة معقد جدا حيث تختلف هذه الظاهرة من محيط الى لآخر ، و نتيجة هذه المتغيرات الكثيرة ينشأ ثلاث أنواع رأيسية لأمواج المد و الجذر خلال اليوم الأرضي ، حيث ان معظم المناطق الساحلية على سطح الكرة الأرضية تتعرض الى موجتي مد و موجتي جذر كل يوم ، و عندما تكون موجتي المد و موجتي الجذر بنفس الأرتفاع تسمى هذه الموجة بالـ(semidiurnal tides) كما هو مبين في الشكل(١٢)-أ ، و اذا كانت الموجتان مختلفتان بالارتفاع لموجتي المد و الجذر تسمى هذه الظاهرة بالـ(mixed semidiurnal tides) كما هو مبين في الشكل(١٢)-ب ، ولكن في بعض المناطق من الكرة الأرضية كما في مدينة مكسيكو تحدث موجة مد و موجة جذر واحدة فقط في اليوم الواحد و تسمى هذه الظاهرة بالـ(diurnal tides) و نبين ذلك في الشكل(١٢)-ج :[1]

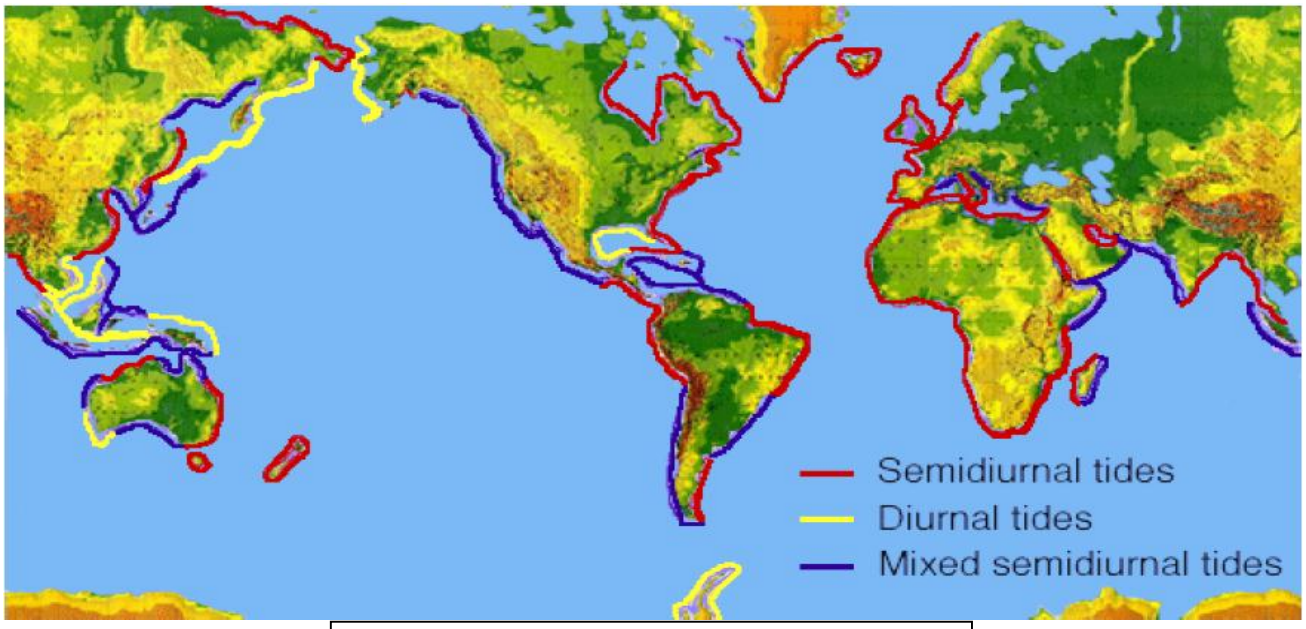


الشكل(١٢): أنواع أمواج المد والجذر حيث أن المحور الشاقولي يمثل ارتفاع المياه أو انخفاضه بالنسبة للارتفاع الأساسي للمياه و المحور الأفقي يمثل الزمن.

و اذا درسنا مناطق الانتشار في الشكل(١٣) لهذه الانواع من أمواج المد و الجذر حيث أن الخطوط الصفراء تبين أن هذه المناطق على الخريطة تحدث عندها أمواج ما تسمى بـ(diurnal tides) كما في سواحل مكسيكو و سواحل استراليا الجنوبية الغربية و سواحل الأسكيمو و

[1] NOAA National Ocean Service Education: Tides and Water Levels http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/welcome.html -26/9/2007, pp,17.

تعد هذه الأمواج الاكثر ندرة ، أما الخط الأحمر تبين الـ(semidiurnal tides) التي تنتشر على سواحل الولايات المتحدة اللأمريكية و كندا الشرقية و سوحل غرينلاند الجنوبية و معظم سواحل القارة الأفريقية و سواحل أوروبا الغربية ، أما الخطوط الزرقاء تبين الـ(mixed semidiurnal tides) التي تعد الأكثر انتشارا من غيرها من أمواج المد و الجذر و تمتد على سواحل القارة الأمريكية الشمالية الغربية و سواحل شبه الجزيرة العربية الجنوبية و سواحل أمريكا الجنوبية الغربية.



الشكل(١٢): انتشار أمواج المد و الجذر على السواحل الأرضية

قمنا بهذا الباب بدراسة امواج المد و الجذر بشكل عام و باستخدام التقريبات التي سهلة عملية الدراسة و لكن الواقع أعقد من ذلك بكثير حيث ان انتشار أمواج المد و الجذر اثناء انتقالها يكون على شكل أمواج مستقرة تنتقل على طول المحيطات و البحار ، وقد درس العديد من العلماء هذه الأمواج مثل لابلاس الذي نمزج حركة المياه الضحلة و كتب معادلاتها في عام 1775 بعد الميلاد حيث أعتبر حركة المياه موجية التي تتعرض لقوة دورية حيث لهذه الأمواج نفس تواترات القوة و بأخذ قيم عمق المحيط و قوى الاحتكاك و بأخذ قوة كيريليوس بعين الاعتبار و قد تمكن من وضع معادلة انحفاظ كمية الحركة و معادلة انحفاظ الكتلة (الاستمرارية) و كانت على الشكل الآتي [٢] :

$$17\ \frac{\partial U}{\partial t} \mp 2\omega U \cos\gamma = -\frac{g}{a}\begin{bmatrix}\csc\gamma \\ 1\end{bmatrix}\partial\frac{\partial}{\partial\mu}\left(\eta_i - \frac{\Phi}{g}\right)$$

$$18\ \frac{\partial \eta_i}{\partial t} + \frac{\csc\gamma}{a}\left[\frac{\partial}{\partial\mu}\begin{bmatrix}Hv\sin\gamma \\ Hu\end{bmatrix}\right] = 0$$

[1] Stephen D. Griffiths – THE LONG AND SHORT OF GLOBAL MODELLING OF OCEAN TIDES – Department of Applied Math, University of Leeds, U.K.PP, 20.

حيث تعبر المعادلة 17 عن انحفاظ كمية الحركة أما المعادلة التي تليها تعبر عن معادلة الاستمرارية ، و لكن في هذا البحث لا نحاول حل هذه المعادلات لأنه من المعقد استنتاجها كما أن بحثنا غير متخصص بدراسة هذا النوع من الحركة بل لاعطاء فكرة عن طريقة معالجة العلماء لهذه المسألة.

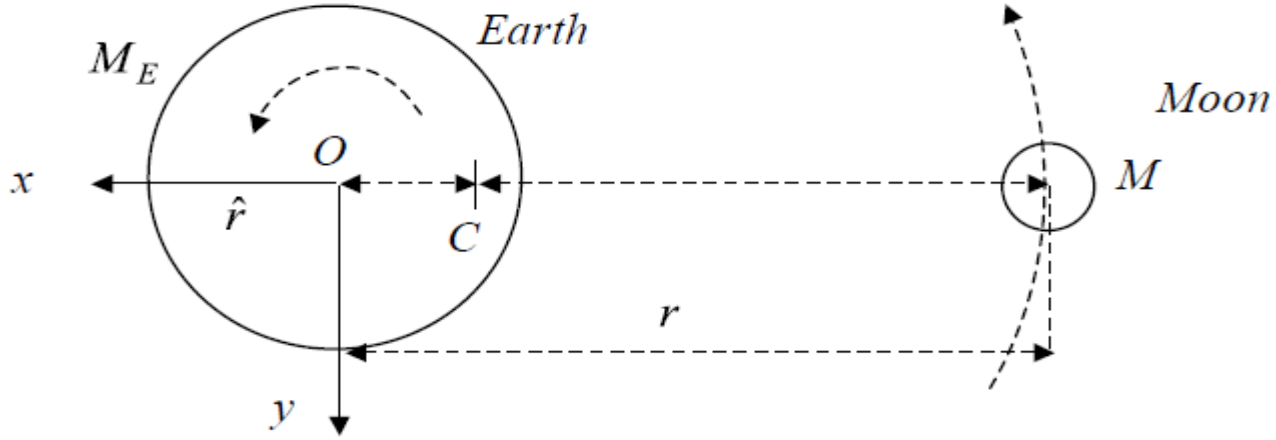
الباب الثاني:

تأثيرات المد و الجذر على حركة الأرض

كما تحدثنا سابقا في الباب السابق ان الارض ليست متجانسة و أنه يوجد قوة احتكاك بين طبقة المياه ، و هذه القوة تؤدي الى انشاء عزم بعكس جهة دوران الأرض مما يؤدي الى ابطاء حركة الارض و يعود ذلك ايضا نتيجة اختلاف السرعة الزاوية للارض و القمر و بذلك عند انتقال الأمواج على سطح الارض تحتك مع الأرض و منه نستنتج أن حركة الأرض تتباطأ مع الزمن و تبقى في تباطؤ حتى تصبح السرعة الزاوية لدوران الارض حول نفسها تساوي السرعة الزاوية لدوران القمر حول الأرض ، حيث أنه عند تلك النقطة تكون السرعة الزاوية النسبية لنقطة من سطح المحيط تساوي صفر بالنسبة للمحور أرض-قمر و بذلك تبقى ظاهرة المد أو الجذر دائما في نفس النقظة و لا تنتقل و منه يختفي عزم قوة الاحتكاك الذي كان يبطئ الأرض و في هذا الفصل سوف نقوم بحساب الوقت الذي سوف تكون عندها السرعة الزاوية النسبية مساوية للصفر و يصبح القمر متزامن مع دوران الارض حول نفسها .[1][3]

الفصل الأول: حساب العزم الدوراني لجملة الارض و القمر.

بداية سوف نفترض أن القمر و الارض يمثلان نظام منعزل طاقياً في الفضاء ، و سوف نفرض أن مدار القمر حول الأرض دائريا ، و أن محور دوران الأرض عمودي على المستوى الحاوي لمدار القمر حول الأرض ، و من هذه الأفتراضات التي تسهل عملية الحساب نحسب أولا عزم عطالة الأرض و القمر حول مركز ثقليهما حيث نمثل هذا النظام في الشكل(١٣):



الشكل(١٣): النظام أرض-قمر في الفضاء

حيث أن C هي مركز ثقل القمر و الأرض و r_0 و البعد بين الارض و القمر في الوقت الحاضر مع العلم أن القمر يبتعد عن الأرض بمعدل 0.038 متر في السنة الواحدة و M هي كتلة القمر و M_E كتلة الأرض و للحساب نعلم أن العزم الحركي حول نقطة يساوي مجموع العزوم الحركية للأجرام التي تدور حول نفسها و العزوم للحركة بالنسبة لمركز الكتلة كما في العلاقة التالية :[4]

[1] Stephen T. Thornton and Jerry B. Marion-Classical-Dynamics-of-Particles-and-Systems-5th-Ed- pp, 204.

[1] APHO II Theoretical Question 1-When will the Moon become a Synchronous Satellite? – 2001, PP, 1

$$19\ L = (l_E + l_M + S_E + S_M)$$

حيث أن l_E تمثل العزم الحركي لدوران الأرض حول مركز الكتلة C و يعطى بالعلاقة:

$$20\ \ l_E = M_E {r_{CM}}^2 \omega_0 = 3.48 \times 10^{32}\ kg \cdot m^2/s$$

حيث أن r_{CM} هو البعد بين مركز الكتلة للقمر والأرض و مركز الأرض الذي يمكن استنتاجه من العلاقة التالية مع القيمة العددية:

$$21\ r_{CM} = \frac{M r_0}{M + M_E} = 4.68 \times 10^6\ m$$

و l_M هو العزم الحركي لدوران االقمر حول مركز الكتلة C و تبلغ قيمته:

$$22\ l_M = M(r_0 - r_{CM})^2 \omega_0 = 2.83 \times 10^{34}\ \ kg \cdot m^2/s$$

حيث أن ω_0 هي السرعة الزاوية لدوران اقمر حول الأرض و T_m هو دور دوران القمر حول الأرض و تبلغ قيمته :

$$23\ \omega_0 = \frac{2\pi}{T_m} = 2.6617 \times 10^{-6}\ rad/s$$

و S_E هو العزم الحركي الدوراني للأرض حول محورها و نأخذ قيمته من العلاقة التالية :

$$24\ S_E = \frac{2}{5} M {R_E}^2 \Omega_E = 7.07 \times 10^{33}\ kg \cdot m^2/s$$

مع العلم أن الرمز Ω_E يعبر عن السرعة الزاوية لدوران الأرض حول محورها مع العلم أن T هو زمن يوم واحد و تبلغ قيمته:

$$25\ \Omega_E = \frac{2\pi}{T} = 7.2926 \times 10^{-5}\ rad/s$$

و S_M هو العزم الحركي الدوراني للقمر حول محورها حيث أن السرعة الزاوية لدورانه تساوي السرعة الزاوية لدورانه دورة كاملة حول الأرض:

$$26\ S_M = \frac{2}{5} M {R_M}^2 \omega_0 = 2.37 \times 10^{29}\ kg \cdot m^2/s$$

و من هنا وبجمع كل من العزوم الحركية السابقة نحصل على قيمة العزم الحركي الكلي للقمر و الأرض حول مركز كتلتيهما بالشكل:

$$27\ L = (l_E + l_M + S_E + S_M) = 3.57 \times 10^{34}\ kg \cdot m^2/s$$

الفصل الثاني: حساب الزمن الذي سوف يتوقف فيه تأثير المد و الجذر

بعد حساب العزم الحركي الكلي للنظام قمر–شمس و كما استنتجنا سابقا بان الأرض تتباطئ حتى تصبح بنفس السرعة الزاوية للقمر في المستقبل اذا لا بد لنا أن نحسب ذلك الدور ، و كبداية ننطلق من قانون كبلر الثالث :

$$28\ \omega^2 r^3 = G(M_E + M)$$

[1] Serway, Jewett – Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 9th Ed, PP, 397.

حيث ان ω هي السرعة الزاوية لحركة القمر حول الأرض و r هي المسافة بين القمر و الأرض ، و العزم الحركي المداري للنظام أرض–قمر هو $l = l_E + l_M$ و $l_E = M_E\left(\frac{M\,r}{M+M_E}\right)^2\omega$ و $l_M = M\left(\frac{M_E\,r}{M+M_E}\right)^2\omega$ منه نستنتج أن :

$$29\ l = \left(\frac{M_E M}{M+M_E}\right)r^2\omega = M_E M(\frac{G^2}{\omega(M_E+M)})^{1/3}$$

و عندما تتساوى السرع الزاوية لدوران الأرض حول نفسها و دوران القمر حول الأرض يعطى العزم الحركي الكلي للنظام بإهمال العزم الدوراني للقمر حول نفسه بالشكل:

$$30\ (l_E + l_M + S_E) = M_E M(\frac{G^2}{\omega(M_E+M)})^{1/3} + \frac{2}{5}M{R_E}^2\Omega_E$$

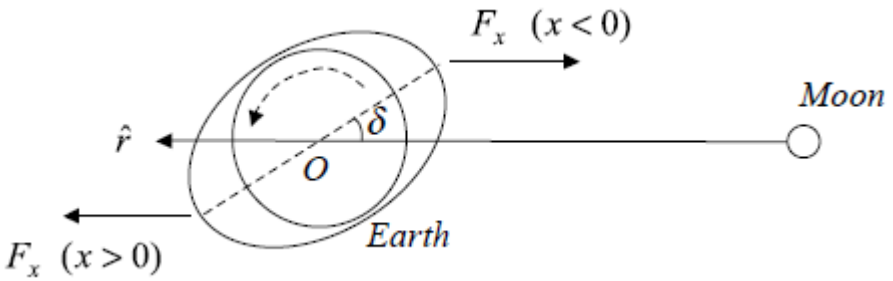
$$= 3.96\times10^{32}\omega^{-1/3} + 9.69\times10^{37}\omega = 3.57\times10^{34}$$

حيث تعبر السابقة تعبر عن انحفاظ العزم الحركي الكلي المحسوب في المعادلة رقم (27) و النتيجة لـω تكون :

$$\omega_f \approx 1.35\times10^{-6}\ rad/s$$

و كما تحدثنا سابقا محور المد يصنع زاوية δ مع المحور أرض–قمر و أن أمواج المد و الجذر تسبب عزم يبطئ الأرض كما في الشكل(١٤) فإننا الآن سوف نحسب الوقت الذي سوف تصبح فيه الرعة الزاوية لدوران الأرض حول نفسها يساوي السرعة الزاوية لدوران القمر حول الأرض و نبدأ بأن العزم Γ يتناسب طردا مع $\frac{1}{r^6}$ و منه نستنتج أن :

$$31\ r^6\,\Gamma = constant$$



الشكل (١٤): القوى التي تعلم على تبطيء حركة الأرض

و من المعادلة رقم (31) نجد أنه مع العلم أن Γ_0 هي عزم القوة في أيامنا الحالية نجد أن :

$$32\ \Gamma = (\frac{r_0}{r})^6\Gamma_0$$

---

1 APHO II Theoretical Question 1–When will the Moon become a Synchronous Satellite?(Solution) – 2001,PP, 2.

1 Serway, Jewett – Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 9th Ed, pp, 302.

و العزم يساوي الى معدل تغير السرعة الزاوية لدوران للأرض حول نفسها مضروبة بعزم العطالة كما في العلاقة التالية:

$$33\ I\frac{d\Omega}{dt} = \Gamma$$

و باستخدام قانون نيوتن الثالث للفعل و رد الفعل نلاحظ أن $-\Gamma$ تساوي معدل تغير العزم الدوراني للنظام قمر –أرض كما في الشكل:

$$34\ \frac{dl}{dt} = -\Gamma$$

و باستخدام العلاقة رقم(28) يمكننا التعويض في العلاقة (29) نحصل على :

$$35\ l = \left(\frac{M_E M}{M+M_E}\right) r^2\omega = M_E M(\frac{G}{M_E+M})^{1/2} r^{1/2} = M_E M(\frac{G^2}{M_E+M})^{1/3}\omega^{-1/3}$$

و باشتقاق طرفي العلاقة رقم (35) بالنسبة للزمن نحصل على معدل تغير العزم الحركي و الذي هو نفسه $-\Gamma$ و تكون العلاقة كالتالي:

$$36\ \frac{dl}{dt} = M_E M(\frac{G}{M_E+M})^{1/2}\ \frac{1}{2r^{1/2}}\frac{dr}{dt} = -\frac{1}{3}M_E M\left(\frac{G^2}{M_E+M}\right)^{1/3}\frac{1}{\omega^{4/3}}\frac{d\omega}{dt} = -\Gamma$$

و لحساب Γ_0 نعوض في العلاقة السابقة رقم (36) لنحصل ععلى القيمة العددية لها حيث أن$(\frac{dr}{dt})_0$ معطاة و قيمتها 0.038 *و منه:*

$$37\ -\Gamma_0 = (\frac{dl}{dt})_0 = M_E M(\frac{G}{M_E+M})^{1/2}\ \frac{1}{2{r_0}^{1/2}}(\frac{dr}{dt})_0 = 4.5\times10^{16}\ N.m$$

و بالتكملة بالعلاقة (32) نحصل على المساواة التالية:

$$38\ \frac{dl}{dt} = -\frac{1}{3}M_E M\left(\frac{G^2}{M_E+M}\right)^{1/3}\frac{1}{\omega^{4/3}}\frac{d\omega}{dt} = -(\frac{r_0}{r})^6\ \Gamma_0$$

و هنا سنستخدم المعادلة رقم (28) و حساب r بدلالة ω و تعويضها في الطرف الثاني من المعادلة رقم(38) فنجد العلاقة:

$$39\ \frac{1}{3}M_E M\left(\frac{G^2}{M_E+M}\right)^{1/3}\frac{d\omega}{dt} = \frac{(r_0)^6\Gamma_0}{\{G(M_E+M)\}^2}\omega^{16/3}$$

و بعزل معدل تغير السرعة الزاوية في طرف واحد نحصل على المعادلة التفاضلية من الشكل [1] :

$$40\ \frac{d\omega}{dt} = \left[\frac{(r_0)^6\Gamma_0}{GMM_E\{G(M_E+M)\}^{5/3}}\right]\omega^{16/3} = b\omega^{16/3}$$

و حل هذه المعادلة يكون من الشكل:

[1] APHO II Theoretical Question 1-When will the Moon become a Synchronous Satellite?(Solution) – 2001,PP, 4.

$$41\ (\omega_f)^{16/3} - (\omega_0)^{16/3} = \frac{-13b}{3}(t_f - 0)$$

و من المعادلة رقم (41) نلاحظ أنه من الممكن حساب الزمن اللازم لتوقف تغير السرعة الزاوية للأرض t_f و بحساب الثابت $\frac{-13b}{3}$ و التعويض على الشكل:

$$\frac{-3}{13b} = 3.4 \times 10^{-8}$$

$$42\ t_f = \frac{-3}{13b}\left((\omega_f)^{16/3} - (\omega_0)^{16/3}\right) = 2.6 \times 10^{10}\ years$$

و هنا بعد الحساب نلاحظ كبر هذا الزمن و ربما لن نكو موجودين لنشهد هذه الظاهرة المدهشة و لكن يكفي معرفة هذا التأثير على الأرض لتوسيع الآفاق حيث في ذلك الوقت سيثبت القمر في منطقة واحدة من الأرض دون غيره و ستكون ظاهرة المد و الجذر هي نفسها طول الأوقات في كل منطقة من الأرض.

الخاتمة:

بعد دراسة ظاهرة المد و الجذر معمقاً لاحظنا أن القمر ليس المسبب الوحيد لظاهرة المد و الجذر بل يوجد مؤثرات أخرى و قوية أيضاً كما لاحظنا في الباب الأول من البحث من القيم المحسوبة عملياً كما في (Nova Scotia) و من أهم هذه المؤثرات: جاذبية الشمس و درجة الحرارة و الضغط الجوي و كذلك نوع السواحل من تعاريج و عمق المياه و قد أثبت أن التغيرات للبعد بين القمر و الأرض و كذلك الب بين الشمس و الأرض و ذلك بسبب المسار القطعي لحركة القمر حول الأرض و دوران الأرض حول الشمس التي تؤدي الى تشكيل ظاهرتي مد و جذر و و هو المد الربيعي عند القمر الكامل أو الاختفاء الكامل له و الجذر الأخفض (neap tides) عند الربع الأول و الربع الثالث من القمر ، و نتيجة لذلك كما وجدنا سابقاً أن ظاهرة المد تتعلق بمكان تواجد القمر بالنسبة للأرض فإن دور ظاهرة المد و الجذر لاكمال دورة كاملة حول الأرض هي $12\ hours.27\ minutes$ و لكن هذه القيمة حسبت مع أخذ جاذبية القمر فقط و لكم مع وجود المؤثرات الأخرى تختلف القيم من مكان الى آخر من سطح الأرض كما هو مبين في الشكل (١٥) التي يبين اختلاف دور ظاهرة المد و الجذر مع السبب الناتج عنه تبعاً لنوع أمواج المد و الجذر التي درسناها سابقاً التي تختلف من ساحل لآخر:

Symbol	Period (hours)	Description
M_2	12.42	Main Lunar Semidiurnal constituent
S_2	12.00	Main Solar Semidiurnal constituent
N_2	12.66	Lunar constituent due to monthly variation in the Moon's distance
K_2	11.97	Solar-lunar constituent due to changes in declination of the sun and the moon
K_1	23.93	Solar-lunar constituent
O_1	25.82	Main lunar diurnal constituent
P_1	24.07	Main solar diurnal constituent

الشكل(١٥): جدول يبين اختلاف دور ظاهرة المد و الجذر تبعاً لنوع الأمواج في منطقة معينة من سطح الأرض

و لاحظنا في البحث أن لأمواج المد و الجذر تأثير كبير على حركة الأرض و لكنه بطيء جداً كما حسبنا في الباب الثاني حيث تبين أن القمر سيصبح متزامن مع حركة الأرض بعد $2.6 \times 10^{10}\ years$ و نتيجة لذلك سوف تبقى ظاهرة المد و الجذر ثابتة في كل نقطة من الأرض و سيكون مستوى الماء ثابت تقريباً فيه.

المقترحات و التوصيات:

بعدما تم التعرف على المد و الجذر ، أوجد العلماء الكثير من الفوائد لهذه الظاهرة التي ساهمت في تطوير شتى القطاعات كالقطاعات العلمية حيث ان دراسة ظاهرة المدو الجذر تساعد على توسيع فهم الفضاء و التأثيرات المتبادلة بين الأجرام و بذلك يمكن الاستفادة منها في تطوير المراقبات الفلكية ، و يمكن الاستفادة منها في تطوير الملاحة البحرية و دراستها يمكن ان تساعد في تخطي مخاطر بعض الأمواج العالية و في الدراسة الطقس و الاحوال الجوية ، كما أنه يمكن الاستفادة من الحركة الميكانيكية لأمواج في توليد الكهرباء عن طريق اجهزة خاصة و يمكن الاستفادة من هذه الامواج في عملية الصيد حيث أن الدراسة الدقيقة لهذه الامواج تساعد الصياد في اختيار الوقت و الزمن الأفضل للصيد ، و لهذه الظاهرة أهمية كبيرة في بناء الجسور حيث أن دراسة هذه الظاهرة تجنبهم مخاطر الحوادث من قبل البواخر أو السفن العالية و بذلك يمكنهم توقع أخفض ارتفاع مسموح لهم وضعه للجسر ، بذلك يمكن الاستفادة من دراسة هذه الظاهرة في كثير من القطاعات التي كان أهمها توليد الطاقة النظيفة.

جدول الثوابت الفيزيائية:

الرمز	الشرح	القيمة
D_{ES}	البعد بين الارض و القمر	$\mathbf{1.495 \times 10^{11}\ m}$
M_E	كتلة الأرض	$\mathbf{5.97 \times 10^{24}\ kg}$
M	كتلة القمر	$\mathbf{7.35 \times 10^{22}\ kg}$
ω_0	السرعة الزاوية لدوران القمر حول الأرض	$\mathbf{2.6617 \times 10^{-6}\ rad/s}$
r_0	البعد بين الأرض و القمر في الوقت الحاضر	$\mathbf{3.85 \times 10^{8} m}$
$(\frac{dr}{dt})_0$	معدل تغير البعد بين الارض و القمر كل سنة	**0.038 m per year**
G	ثابت الجاذبية الكوني	$\mathbf{6.67259 \times 10^{-11} N \cdot m^2/kg^2}$
T_m	زمن دوران القمر حول الأرض	**27.322 days**
T	اليوم الأرضي	**23.933 hours**
M_s	كتلة الشمس	$\mathbf{1.993 \times 10^{30}}$ **kg**

المصادر و المراجع:

- Stephen T. Thornton and Jerry B. Marion-Classical-Dynamics-of-Particles-and-Systems-5th-Ed.
- Dr. Cheryl Ann Blain –TIDAL HYDRODYNAMICS AND MODELING – Naval Research Laboratory – Stennis Space Center , MS , USA – 2-13 january , 2013.
- Steacy Dopp Hicks physical oceanographer – UNDERSTANDING TIDES – December 2006.
- Susan Hautala, Kathryn Kelly and LuAnne Thompson – Tide Dynamics – Winter 2005.
- Ross - Introduction to Oceanography- New York- D.A. 1995-NY: HarperCollins. pp.236-242.
- Sumich- An Introduction to the Biology of Marine Life, sixth edition. Dubuque- J.L.1996.
- NOAA National Ocean Service Education: Tides and Water Levels http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/welcome.html - 26/9/2007.
- APHO II Theoretical Question 1-When will the Moon become a Synchronous Satellite? - 2001.
- Stephen D. Griffiths – THE LONG AND SHORT OF GLOBAL MODELLING OF OCEAN TIDES – Department of Applied Math, University of Leeds, U.K.
- Serway, Jewett - Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 9th Ed.