ملاحظات حول صعوبات تدريس وتقويم الظواهر الفلكية في التعليم الثانوي

عبد العزيز براح
أستاذ متقاعد، بقسم الفيزياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
abdelaziz.berrah@g.ens-kouba.dz

1. مقدمة

يهدف هذا المقال إلى تسليط الضوء على بعض الصعوبات العلمية والتعليمية المرتبطة بتدريس قوانين كبلر في الطور الثانوي في الجزائر والعديد من البلدان الأخرى، وخاصة الدول العربية. قدّمنا في مقال سابق في العدد 12 من مجلة "بشائر العلوم" كيفية تأثير هذه الصعوبات على ارتكاب أخطاء فادحة في تمرين البكالوريا حول القمر ألكوم سات 1 لسنة 2018 (شعبة رياضيات وتقني رياضي).

يمكن تلخيص أهم الصعوبات والنقائص في تدريس قوانين كبلر للشعب العلمية للتعليم الثانوي في الجزائر والعديد من البلدان الأجنبية في النقاط التالية:

- **الانتقال الغامض من المدار الإهليجي إلى الدائري في دراسة قوانين كبلر؛**
- **التوظيف الناقص أو الخاطئ لقوانين نيوتن لتفسير حركة الكواكب؛**
- **التوظيف الناقص للطاقة ومبدأ انحفاظها لتفسير حركة الكواكب.**

بعد هذا المقال النقدي، سنقدّم اقتراحات علمية وتعليمية للمعالجة في مقال آخر إن شاء الله.

2. ملخص لنقائص تدريس الظواهر الفلكية وقوانين كبلر في الطور الثانوي

2.1. النقائص العلمية والتعليمية في الانتقال من المدار الإهليجي إلى الدائري

يمكن تلخيص أهم صعوبات ونقائص تدريس قوانين كبلر للشعب العلمية للتعليم الثانوي في الجزائر والعديد من البلدان الأجنبية في كيفية تقديم نصوص قوانين كبلر، حيث يتم التركيز على كواكب تدور في مدارات إهليجية بسرعة متغيرة والشمس أحد محرقيها، ثم تطبيق هذه القوانين على أقمار تدور حول كواكب مختلفة عن الشمس بحركة دائرية منتظمة، دون شرح كافٍ للتلميذ حول كيفية وشروط الانتقال من المدار الإهليجي إلى المدار الدائري. يؤدي هذا الانتقال المبهم إلى النقائص العلمية والتعليمية التالية:

- ارتكاب أخطاء **بتعميم علاقات صالحة في المدار الدائري وخاطئة في المدار الإهليجي، مثل استخدام عبارة السرعة المدارية** $v^2 = GM/r$، كما ورد في تمرين حول القمر ألكوم سات 1 في باكالوريا 2018 شعبة الرياضيات و ت.ر، والذي قدّمناه في مقال سابق.
- **عدم دراسة مختلف خصائص حركة جسم على مدار إهليجي، وكيفية الانتقال من مدار دائري إلى مدار إهليجي** أو العكس، كما يحدث للقمر الجيومستقر الوارد في عدة تمارين.
- **وجود غموض وأخطاء في استعمال الرمز** r **في العلاقات**، مثل العلاقة السابقة. هل r يُمثّل طول شعاع الموضع للمتحرك، أم نصف قطر الانحناء في موضع المتحرك، أم نصف طول المحور الأعظمي للإهليج، أم نصف قطر المسار الدائري؟ في حالة المدار الدائري، يمكن استخدام الرمز r لتمثيل جميع المقادير

السابقة المتطابقة هندسيًا. أما في حالة المسار الإهليجي، نظرًا للاختلاف الهندسي والميكانيكي للمقادير السابقة، فإن استخدام الرمز r بالطريقة ذاتها يُعدّ خطأ علميًا وتعليميًا فادحًا.

- **غموض في نص القانون الثالث لكبلر وشكل العلاقة المرتبطة به**، حيث يتم استخدام عبارة «**البعد المتوسط للكوكب**» كما جاء في الكتاب المدرسي، بالإضافة إلى صياغة العلاقة على الشكل $T^2 = r^3$.

2.2. النقائص العلمية والتعليمية في تطبيق قوانين نيوتن لتفسير حركة الكواكب

في الجزائر، وكما يوضّح الجدول أدناه الخاص بتوجهات المنهاج، يُطلب من الأستاذ التركيز على الحركة الدائرية وتفسير حركة الكوكب باستخدام القانون الثاني لنيوتن وكتابة قوانين كبلر. وبما أن نصوص قوانين كبلر متعلقة بالمسارات الإهليجية، والتي **لا يمكن تفسيرها بالمبدأ الأساسي للتحريك وحده**، بل تحتاج إلى **قانون الجاذبية العامة لنيوتن الغائب ذكره بوضوح** رغم أهميته البالغة. ويظهر الغموض ذاته في التوجهات **بعدم ذكر القانون الثالث لنيوتن**، أي مبدأ الفعلين المتبادلين، لتفسير التأثير المتبادل بين الكوكب المركزي والقمر الذي يدور حوله.

توجهات المنهاج حول قوانين كبلر			
-يتذكر خواص الحركة الدائرية المنتظمة. -يفسر حركة الكواكب أو الأقمار الاصطناعية بواسطة القانون الثاني لنيوتن. -يكتب قوانين كبلر.	2-شرح حركة كوكب أو قمر اصطناعي	-دراسة حركة كوكب أو قمر اصطناعي	-عرض محاكاة حول حركة الكواكب مع إبراز خواص الحركة الدائرة المنتظمة -تفسير حركة الكواكب أو الأقمار الاصطناعية بقوانين نيوتن -قوانين كبلر

يسمح تطبيق **قوانين نيوتن الأربع** بتفسير خصائص حركة القمر في المسار الدائري. أما فيما يخص تفسير خصائص الحركة في المسارات الإهليجية، فيجب توظيف مفهوم الطاقة ومبدأ انحفاظها وقوانين نيوتن لتفسير شكل المسار وعبارة السرعة في المسار الإهليجي. بالطبع، لا يمكن الاعتماد على مبدأ فيزيائي أساسي خاص بالقوى المركزية، وهو **مبدأ انحفاظ العزم الدوراني**، لأنه خارج منهاج الطور الثانوي.

نلاحظ أن هذه التوجهات الناقصة والغامضة، مثل «**كتابة قوانين كبلر**»، لا تسمح ببناء الكفاءات الختامية المحددة لهذه الوحدة. في الطور الثانوي، لتفسير أغلبية خصائص حركة الكواكب وقوانين كبلر، نعتمد على قوانين نيوتن، وهي: قانون الجاذبية الكونية، والقانون الأول لنيوتن (مبدأ العطالة)، والقانون الثاني (المبدأ الأساسي للتحريك)، والقانون الثالث (مبدأ الفعلين المتبادلين). لتطبيق هذه القوانين من الناحية التعليمية، يجب تحديد المعلم العطالي للدراسة والجملة المدروسة، وهي خطوة تُطبّق في الجزائر نظرًا لوجود الأسئلة الأولى حولها في تمارين الباكالوريا، على عكس معظم البلدان الأجنبية، وخاصة العربية، حيث نلاحظ غياب التحديد الواضح لمعلم الدراسة.

يتيح المعلم العطالي لتفسير حركة الجسم أو الكوكب باستخدام قوة **الجاذبية الكونية المطبقة على القمر من الكوكب المركزي**، دون إدخال القوة الطاردة المركزية **بشكل خاطئ**، كما يحدث في العديد من الوثائق الأجنبية.

يمكن تلخيص النقائص العلمية والتعليمية في تطبيق قوانين نيوتن في النقاط التالية:

- **غموض مزدوج حول معلم الدراسة، يتمثّل في عدم تعيين المعلم العطالي بوضوح** (معلم مركزي كوكبي) لدراسة حركة قمر أو جسم يدور حول كوكب كيفي«مركزي» وليس حول الشمس، **وإدخال مشوش لمعلم أو قاعدة فرينيه** (Frenet).

- نقائص وأخطاء في الدراسة التحريكية لحركة القمر، تتمثل في **عدم التركيز على وجود قوة واحدة، وهي قوة الجاذبية الكونية المطبقة على القمر من الكوكب المركزي**، لتفسير حركة القمر وفق قوانين كبلر دون ارتكاب **الخطأ الشائع بإدخال القوة الطاردة المركزية في معلم عطالي.**
- عدم توضيح الشرط الخاص بالكتل لتطبيق قوانين كبلر، وخاصة القانون الثالث، حيث يجب أن تكون M **كتلة الكوكب المركزي أكبر بكثير من** m **كتلة الجسم أو القمر المتحرك حوله** أي $M \gg m$.
- **البرهان الصحيح** على القانون الثالث لكبلر في الحركة الدائرية، **وتعميمه الخاطئ** على الحركة الإهليجية عبر استخدام الرمز r بدلًا من a نصف القطر الأعظمي للإهليج.
- خطأ فادح في عبارة السرعة على المدار الإهليجي، حيث يتم استعمال العبارة $v(r) = \sqrt{GM/r}$ الصحيحة في الدائرة والخاطئة في الإهليج. العبارة الصحيحة العامة هي:

$$v(r) = \sqrt{2GM(\frac{1}{r} - \frac{1}{2a})}.$$

حيث G هو ثابت الجاذبية الكونية، و M هو كتلة الكوكب المركزي، و a هو نصف القطر الأعظمي للإهليج.

- غموض وأخطاء في استعمال الرمز r: في كتابة العبارات، مثل استخدام عبارة التسارع الناظمي $a_n = v^2/r$ بشكل خاطئ في المسار الإهليجي بدلًا من العبارة الصحيحة $a_n = v^2/R_c$ أو $a_n = v^2/\rho$، حيث R_c أو ρ يُمثّلان نصف قطر الانحناء في تلك النقطة من المسار، والذي يختلف عن r هندسيًا وميكانيكيًا.

حركة الجسم في المنهاج	
-يفسر حركة جسم صلب خاضع لعدة قوى بواسطة الطاقة أو القانون الثاني لنيوتن	-يفسر حركة القذيفة بواسطة الطاقة أو القانون الثاني لنيوتن. -يكتب المعادلات الزمنية ومعادلة المسار. -يناقش تأثير كل من زاوية الميل وسرعة القذف.
	يفسر حركة جسم صلب خاضع لعدة قوى بواسطة الطاقة أو القانون الثاني لنيوتن.

2.3. النقائص في توظيف الطاقة ومبدأ انحفاظها في تفسير حركة الكواكب

يمكن اعتبار تهميش أو غياب مفهوم الطاقة من بين النقائص العلمية والتعليمية في دراسة حركة الكواكب وقوانين كبلر. في الجزائر، في وحدة الظواهر الميكانيكية التي تشمل قوانين كبلر وحركة جسم خاضع لعدة قوى، وحسب توجيهات المنهاج، يتم توظيف الطاقة بشكل مكثف في فقرة الجسم الخاضع لعدة قوى، لكنها تغيب في قوانين كبلر، كما يوضح الجدول أدناه.

أما في الوثيقة المرافقة للمنهاج الصادرة في 2005 وفي الصفحة 52، يوجد مثال لتمرين توجيهي يعتمد على الطاقة في حركة الكواكب لمقارنتها مع طاقة الإلكترونات في الذرة. يبدو أن محتوى هذه الوثيقة غير معروف لدى مؤلفي التمرين حول القمر جيوف (Giove) في امتحان باكالوريا 2009 شعبة رياضيات و ت.ر.، خاصة السؤال الخامس المتعلق بالطاقة والحل النموذجي الخاطئ.

من الجانبين العلمي والتعليمي، تُمثّل القوة الجاذبية الكونية مثالًا على القوة المحافظة، أي عملها يتعلق فقط بنقطتي البداية والنهاية وتظل الطاقة الميكانيكية محفوظة. يسمح توظيف هذه القوة بتفسير العديد من خصائص قوانين كبلر التي لا يمكن تفسيرها بقوانين نيوتن. كما يسمح تطبيقها بوجود العبارة الصحيحة لسرعة القمر على المدار

الإهليجي، كما سنوضحه في الاقتراحات الخاصة بالمعالجة. نذكر أن عبارة هذه السرعة كانت مصدرًا للخطأ الجسيم المرتكب في نص وحل التمرين الخاص بإطلاق القمر ألكوم سات Alcom Sat 1 في التمرين الثاني لبكالوريا 2018.

ص 52 من الوثيقة المرافقة لمنهاج الفيزياء 3AS

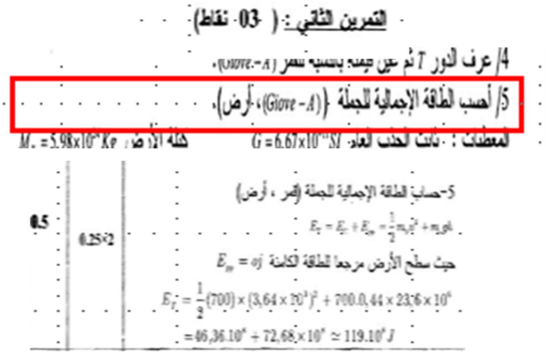
الوثيقة ـ ج ـ مقارنة النظام الذري والنظام الكوكبي

هل من الصحة تعريف الذرة بالمقارنة مع النظام الكوكبي على أنه ناتج التقاطع الإلكتروستاتي بين الإلكترون و النواة ؟

1. نود أن تنشأ عبارة السرعة v للقمر صناعي كتلته m بدلالة نصف قطر مداره $r=R_T+h$ بحيث أن h هو ارتفاع القمر الصناعي و R_T قطر الكرة الأرضية.
نكتب M_T هي كتلة الكرة الأرضية.
المرجع الغاليلي المختار هو المرجع الخاص بمركزية الأرض.
أ. تذكر عبارة قوة جاذبية الثقل التي تمارسها الأرض على هذا القمر الصناعي.
ب. استعمل القانون الثاني لنيوتن لتعريف عبارة التسارع الجاذب (accélération centripète) للقمر الصناعي.
ت. نستنتج عبارة v بدلالة r.

2. $E_{pp} = -\frac{GM_T m}{r}$ هي ثابتة الجاذبية العامة، نأخذ الطاقة الكامنة الجاذبية E_{pp} للقمر الصناعي المتداخل مع الأرض ب
أ. لماذا E_{pp} هنا لا تساوي $E_{pp}=mgz$ مع $z=r$ ؟
ب. عين عبارة الطاقة الميكانيكية E_m للقمر الصناعي المتداخل مع الأرض.
ت. E_m هل هي دالة تابعة لـ r ؟

3. رأينا من خلال دراسة الأقمار الصناعية بأننا نستطيع أن نختار عشوائيا قيمة r حسب أي شروط حول شعاع السرعة ؟



التمرين الثاني : (03 نقاط)

4/ عرف الدور T لـ جرم يتحرك بحركة دائرية منتظمة ($Giove-A$)، ($Giove-A$)، (الأرض).

5/ أحسب الطاقة الإجمالية للجملة {($Giove-A$)، (الأرض)}.

المعطيات : ثابت الجذب العام $G = 6.67\times10^{-11}\ SI$ كتلة الأرض $M_T = 5.98\times10^{24}\ Kg$

5- حساب الطاقة الإجمالية للجملة (قمر ، أرض)

0.5 | 0.25×2

$E_m = E_c + E_{pp} = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$

حيث سطح الأرض مرجعا لطاقة الكامنة $E_{pp} = mgh$

$E_c = \frac{1}{2}(700)\times(3.64\times10^3)^2 + 700.0.44\times23.6\times10^6$

$= 46.36.10^6 + 72.68\times10^6 \simeq 119.10^6\ J$

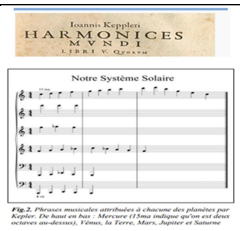
3 دور الكتاب المدرسي وتمارين الباكالوريا ودروس عبر الإنترنيت في صعوبات تدريس قوانين كبلر

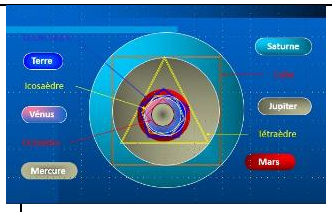
في الجزائر، يمكن اعتبار أن التمارين المطروحة في الباكالوريا وحلولها النموذجية تُمثّل العامل الأساسي في توجيه كيفية تدريس وتقويم كل وحدات العلوم الفيزيائية، وخاصة قوانين كبلر. أدّت هذه الوضعية الخطيرة إلى تهميش الوثائق الرسمية الخاصة بتعليم العلوم الفيزيائية في الطور الثانوي، مثل المنهاج والوثيقة المرافقة والكتاب المدرسي. لتحضير البكالوريا، يلجأ التلميذ وأستاذه إلى الوثائق الرسمية، وخاصة الكتاب المدرسي للعلوم الفيزيائية للسنة الثالثة شعبة ع.ت. و ر. و ت.ر. بالإضافة إلى تمارين الباكالوريا المتعلقة بقوانين كبلر، والوثائق والدروس الخصوصية، حضوريًا أو عبر شبكات التواصل الاجتماعي، ومواقع جزائرية وأجنبية.

سنحاول تحديد دور هذه المصادر المتعددة في خلق صعوبات تدريس قوانين كبلر. بعد زيارتنا لعدة مواقع إلكترونية، يمكن ملاحظة وجود نقائص مشتركة، خاصة في تدريس وتقويم قوانين كبلر، كما سنوضحه من خلال الصور والتعليقات التالية.

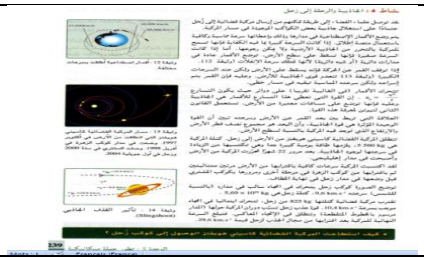
3.1 دور الكتاب المدرسي في نقائص تدريس قوانين كبلر

ملاحظات ملخصة حول محتوى الكتاب المدرسي	الكتاب المدرسي الجزائري للسنة الثالثة (ص. 236، 252، 253)
تقديم تاريخي ممتاز حول أعمال كبلر بتفسير لماذا قوانين كبلر تركز على المدار الإهليجي والطابع المتغير للسرعة المدارية بدلًا من المدار الدائري والسرعة المدارية الثابتة. تُمثّل أعمال وأفكار كبلر الثورة المكملة لثورة حول مركزية الكون والشكل المثالي الدائري لمسارات الكواكب. تحاول أغلبية حسابات كبلر البرهان على أن مسار المريخ ليس دائريًا وسرعته متغيرة. أعطى نظام كوبرنيكس للشمس مركزية الكون بدلًا من الأرض وأعطى كبلر الإهليج المكان الملائم بجوار الدائرة. حاول كبلر تفسير سبب حركة كواكب النظام الشمسي وعددها ويعتمد هذا التفسير الفاشل على أفكار فلسفية حول تناغم الكون وربط كل كوكب بنغمة موسيقية وفق الصورة Harmonices Mundi وربط عددها وترتيبها بالأجسام الأفلاطونية وفق الصورة التالية، أي لكل كوكب نغمة موسيقية وشكل هندسي خاص به.	ـ كبلر Kepler (1630-1571) : عملا بالنظام الهيليومركزي وبمساعدة تيكوبراهي، حاول كبلر تحديد مسارات الكواكب بدقة. لم يتقبل ظاهرة انحراف الكواكب عن الدائرة المثالية التي كان يجدها في حساباته الرياضية و أصبح يشكك في فكرة الحركة الدائرية المنتظمة. وبفعل إتقانه ودقته، نشر سنة 1609 قانونين: (1) : ترسم الكواكب مدارات إهليلجية لا دائرية. (2) : سرعتها ليست ثابتة. عرّض كبلر 48 دائرة متداخلة لكوبرنيك بسبعة إهليلجات بسيطة (كل واحدة خاصة بكوكب). ووضع بعدها قانونه الثالث (3) : النسبة بين مربع دور حركة الكوكب ومكعب المسافة بينه والشمس ثابتة عند كل كواكب النظام الشمسي. كان لهذه القوانين الثلاثة دور أساسي في تطور الميكانيك. الوثيقة 22: كبلر.





النشاط 4 حول رحلة Cassini كاسيني إلى زحل



2.تقديم ناقص للغاية للنشاط 4 حول رحلة المركبة كاسيني إلى زحل، حيث يحتوي على شرح يتناقض مع قوانين الميكانيكا، مثل القول بأن القمر يتوقف عن الحركة «يسقط القمر على الأرض»، وعند السرعات الكبيرة تنعدم قوة الجاذبية. بما أن حركة المركبة تتكون أساسًا من دوائر وأقواس إهليجية عند اقترابها من الكواكب، فإن عبارة السرعة المذكورة غير صحيحة، لأن المسار ليس دائريًا فقط. في هذه الحركة، تكون السرعة حتمًا مماسية وبدون إشارة. **كما يغيب تفسير أهم خاصية للسرعة على الإهليج، حيث السرعة أعظمية في نقطة الحضيض وأصغرية في الأوج، أي السرعة تزداد عند اقتراب المتحرك من نقطة الحضيض.**

نلاحظ أيضًا غياب التوضيح الدقيق لمراحل الحركة المختلفة والمعلم المناسب لكل مرحلة، وهو ما سنوضحه في الاقتراحات الخاصة بالمعالجة.

3. تقديم قوانين كبلر بشكل تاريخي، بالاعتماد على المسار الإهليجي ثم **إعطاء عبارة السرعة للحركة الدائرية مجاورة لشكل الإهليج**، رغم وجود عبارة الدائرة في النص. في أذهان التلاميذ والأساتذة، تُعتبر العلاقة صحيحة في كل المسارات كما جاء في تمرين الباكالوريا 2018.

4. تعبير مبهم للقانون الثالث لكبلر: ما معنى عبارة "**البعد المتوسط للكوكب عن الشمس**"؟ قد ينتبه القارئ إلى الجملة الملونة ولا يلتفت إلى الجملة التي تحتها، والتي توضح أن المسافة المقصودة هي نصف القطر الأعظمي للإهليج. يُستخدم هذا التعبير المبهم بكثرة في العديد من البلدان الأجنبية، وخاصة العربية. بالطبع نلاحظ غياب عبارة السرعة على المدار الإهليجي، وغياب توضيح شروط الانتقال من المدار الإهليجي إلى الدائري.

5. **غياب التحليل الطاقوي لقوانين كبلر.**

درس قوانين كبلر في الكتاب المدرسي

6. يجب تحديد بوضوح مختلف مراحل الرحلة ومعلم كل مرحلة. في المرحلة الأولى، يكون المعلم مركزيًا أرضيًا، ثم بعد الإفلات من الأرض يصبح المعلم مركزيًا شمسيًا بمسار إهليجي، ثم يصبح المعلم مركزيًا كوكبيًا، وهكذا يكون المعلم مركزيًا زحليًا ثم يعود ليصبح مركزيًا شمسيًا.

7. المبالغة في التعليق على أن العلاقة $T^2 = Kr^3$ مستقلة عن كتلة الكواكب، رغم أن الثابت K يتعلق بكتلة الكوكب المركزي. تُمثل العلاقة السابقة التي يجب تقديمها على الشكل $T^2 = 4\pi^2.a^3/GM$، حيث M تُمثل كتلة الكوكب المركزي، العلاقة الأساسية **الميزان الفلكي**، لأنها سمحت بتحديد كتلة الكواكب والثقوب السوداء والمجرات. فهي تتعلق بكتلة الكوكب المركزي **وليست مستقلة عنها**.

8. عكس عدة مواقع ووثائق أجنبية التي تعتمد بشكل خاطئ في الدراسة على القوة الطاردة المركزية، وتستخدم معلم فريني بشكل مبهم، **نلاحظ أن محتوى الكتاب لا يحتوي على هذه النقائص العلمية والتعليمية.**

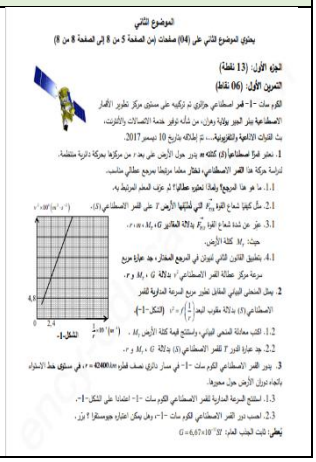
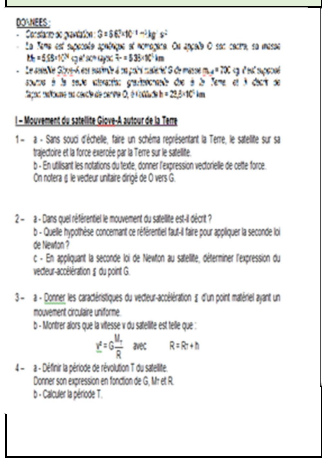
3.2.دور تمارين البكالوريا في نقاص تدريس وتقويم قوانين كبلر

بالنسبة لامتحان الباكالوريا في مادة العلوم الفيزيائية في الجزائر، تُمثل التمارين المتعلقة بقوانين كبلر وحركة الكواكب الثابتَ الذي ينتظره المترشحون. أغلبهم يختار الموضوع الذي يحتوي على تمرين حول قوانين كبلر من بين الموضوعين المقترحين، وذلك لأن نمط التمرين يتكرر كل عام، رغم وجود بعض الحالات الخاصة أو الأسئلة الجديدة أحيانًا. يمكن تلخيص هذا النمط كما يلي:

تقديم الكوكب أو القمر المدروس	مثال: أقمار المشتري، إطلاق القمر الكوم سات 1، القمر جيوف (Giove)، سبوتنك، أقمار GPS وحركة دائرية منتظمة للكوكب
السؤال الأول	ما هو معلم الدراسة؟ ما هي الفرضية لاختياره؟
السؤال الثاني	القوة المطبقة وتطبيق المبدأ الأساسي للتحريك
السؤال الثالث	وجود عبارتي التسارع والسرعة المدارية v
السؤال الرابع	وجود عبارة الدور T أو تحديد كتلة كوكب

هذا النمط المتكرر مشترك في عدة بلدان، مع غياب السؤال الأول حول المعلم، الذي يظهر في مواضيع الجزائر وفرنسا، كما يوضحه الجدول التالي. بالإضافة إلى ذلك، يوجد سؤال خامس مفخخ حول الطاقة، مع حل نموذجي خاطئ كما سنوضحه في الاقتراحات الخاصة بالمعالجة.

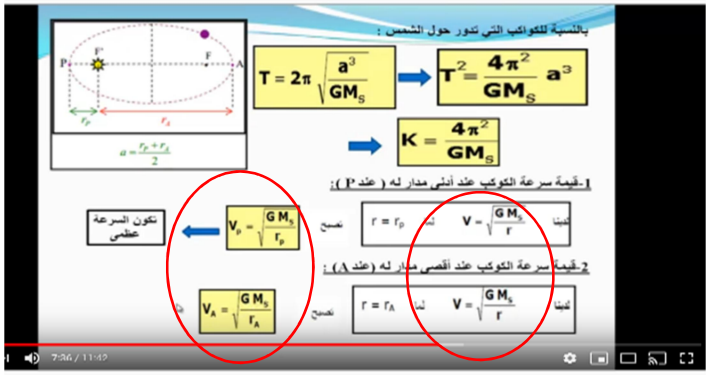
نذكر أن هذا النمط تكرر تقريبًا بنفس الشكل في شعبة الرياضيات سنوات: 2008، 2012، 2013، 2014، 2016، وفي شعبة العلوم سنوات: 2009، 2010، 2014، 2015. مما جعل نشاط الأساتذة والتلاميذ يتمحور حول حفظ الحلول النموذجية بكل ما تحمله من غموض وأخطاء.

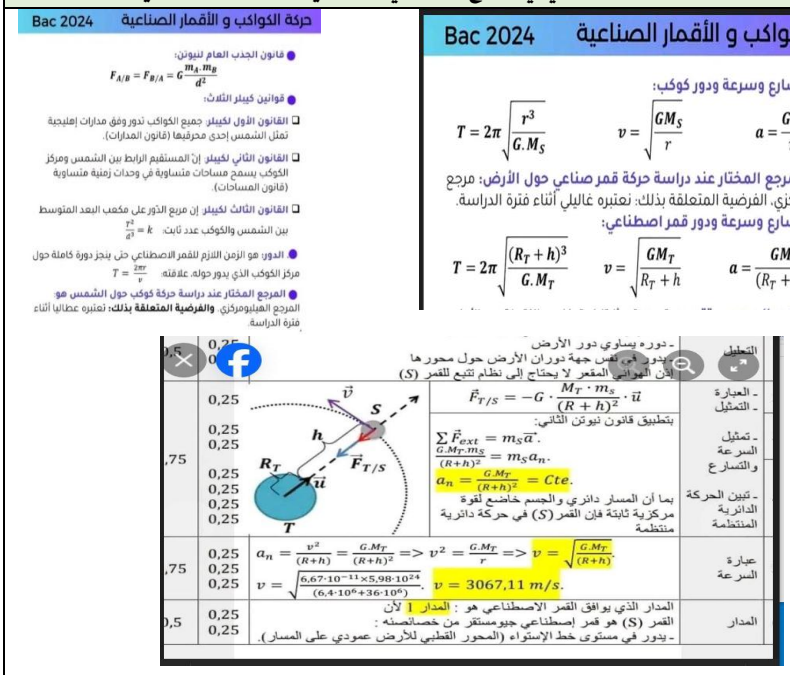
نص تمرين باك 2018 شعبة ع.ت. حول ألكوم سات1 وحله	نص التمرين حول القمر جيوف باك 2009 شعبة ر .و.ت.ر.	جزء من نص تمرين حول القمر جيوف باك فرنسي Bac- Polynésie 2007
		

3.3. دوروثائق عبر شبكة الإنترنت في نقائص تدريس وتقويم قوانين كبلر

نظرًا لاعتماد التلاميذ على العديد من المصادر المتوفرة على شبكة الإنترنت لتحضير امتحان الباكالوريا، فإن محتوى هذه المصادر يؤثر بشكل كبير على مدى تمكنهم من قوانين كبلر. ينطبق الأمر ذاته على الأساتذة الذين يبحثون عن معلومات مكملة للكتاب المدرسي.

نقدّم في الجداول التالية صورًا لبعض الوثائق المتعلقة بقوانين كبلر وحركة الكواكب، مع ملاحظات ملخصة حول مميزاتها.

ملاحظات	السرعة على المدار الإهليجي حسب وثيقة المركز الوطني للتعليم عن بعد
علاقات خاطئة تتضمن تكرارًا للأخطاء الواردة في تمرين الباكالوريا 2018 شعبة ر. و ت.ر.، كما سنوضحه في الاقتراحات لمعالجة هذه النقائص. العلاقة الصحيحة بين السرعتين هي: $v_p r_p = v_A r_A.$ والعبارة الصحيحة للسرعة على المدار الإهليجي هي: $v(r) = \sqrt{2GM\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{2a}\right)}.$ والسرعة في النقطة P تساوي $v(r_P) = \sqrt{2GM\left(\frac{1}{r_P} - \frac{1}{2a}\right)}.$ وفي النقطة A $v(r_A) = \sqrt{2GM\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{2a}\right)}.$	

ملاحظات	ملخص للدرس ولحل نموذجي في موقع إلكتروني جزائري لتحضير الباكالوريا
تُمثل هذه الوثيقة المقابلة ملخصًا لوثيقة من موقع إلكتروني جزائري لتحضير الباكالوريا، تحتوي على ملخص لما يجب حفظه من علاقات وأنماط حلول حول قوانين كبلر. نلاحظ نفس التعبير المهم كما في الكتاب المدرسي حول القانون الثالث، حيث تظهر عبارة البعد المتوسط بين الشمس والكوكب، والعلاقات المتعلقة بالسرعة تحت عنوان عام، وهي صحيحة فقط في حالة المدار الدائري وخاطئة بالنسبة للمدار الإهليجي. توجد أيضًا عبارة غامضة حول تفسير لماذا المعلم عطالي. «نعتبره عطاليًا أثناء فترة الدراسة» حجة غير مقنعة لعدم تحديد هذه المدة ومقارنتها بمدة أخرى. من الأفضل	

الاعتماد على وجود القوى الحقيقية فقط لتفسير الحركة، دون اللجوء إلى قوة وهمية مثل القوة الطاردة المركزية. سنوضح في الاقتراحات الخاصة بالمعالجة وجود معلم نعبره عطاليًا بالنسبة لحركة، وغير عطالي بالنسبة لظاهرة فلكية أخرى.

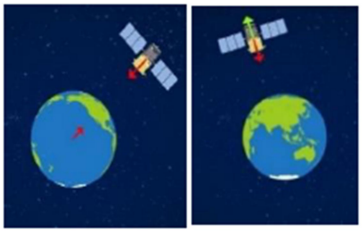
ملاحظات

يُقدّم موقع فرنسي مخصص لـ «**تبسيط علم الفلك**» مع تدعيم التصورات «الطبيعية» الخاطئة للتلاميذ في ما يلي:

1. خطأ في رسم شدتي القوتين بين الأرض والقمر، حيث وفقًا للتصورات الطبيعية الخاطئة، الجسم الأكبر يطبق قوة أكبر شدة، عكس ما ينص عليه مبدأ الفعلين المتبادلين.

2. **إدخال القوة الطاردة المركزية** معاكسة لقوة الجاذبية «خوفًا من سقوط القمر على الأرض»، عكس ما ينص عليه قانون نيوتن الثاني، إذ إن قوة الجاذبية **وحدها** تفسر حركة القمر. في تعليمية الفيزياء، تُسمى هذه التصورات الخاطئة حول القوى بأفكار أرسطو، والتي تعتبر أن اتجاه القوة هو نفسه اتجاه الحركة، أي بالترميز الحديث للشعاعين $\vec{F}$ و $\vec{v}$ نفس الحامل والاتجاه.

بعض الأخطاء الفيزيائية في الشبكة



شروط مدهشة لتطبيق قوانين كبلر

في الموقع السوري المقابل، يُظهر التعبير في الشرط الأول أن الجسم عديم الكتلة يؤدي إلى انعدام قوة الجاذبية المطبقة عليه، لأنها تتناسب مع الكتلة المعنية. الشكل الصحيح للشرط هو أن كتلة القمر m أصغر بكثير من كتلة الكوكب المركزي M وليست m منعدمة.

الشرط الثاني مدهش لأنه يتناقض مع الواقع الذي نعيشه في حياتنا اليومية، حيث نعتمد على الأقمار الجيومستقرة التي تستقبل وتبث الأمواج، أي قنوات الاتصال والتلفزة، وكلها في مدار واحد، ويبلغ عددها الآلاف ويتزايد باستمرار.

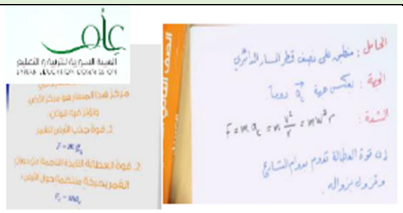
ملاحظة: يمثل العدد الممكن من الأجسام المتحركة في مدار حول جسم مركزي إشكالية فيزيائية أساسية وتفصل بين ميكانيكا نيوتن وميكانيكا الكم.

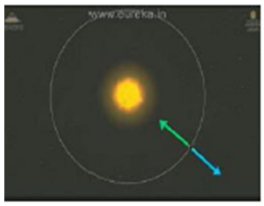
في قوانين كبلر ونيوتن، نصف قطر المدار له قيمة مستمرة وغير مكممة، وعدد الأقمار في المدار غير محدد، كما تدل عليه الحزم

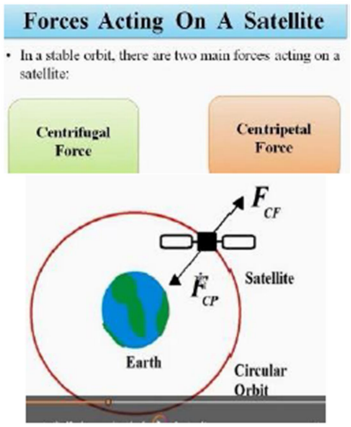
يوجد في المنهاج الجزائري فقرة خاصة بحدود ميكانيكا نيوتن، مع عدم تطبيقها في الذرة على حركة الإلكترونات حول النواة، لأن جميع المدارات في الذرة غير ممكنة، وعدد الإلكترونات في مدار مكمم ومحدود، على عكس عدد الأقمار غير المحدود في مدار معيين.

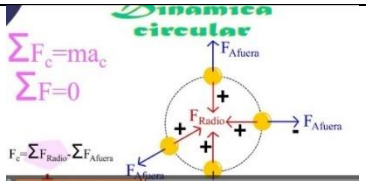
التي تدور حول كوكب زحل والمشتري.	

وثائق متنوعة بوجود القوة الطاردة المركزية









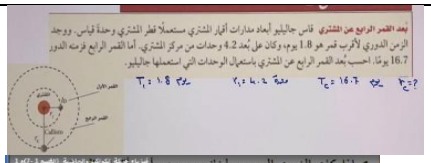
في الصورة العلوية لموقعين إلكترونيين سوريين، يظهر الخطأ بوضوح من خلال وجود قوتين لتفسير الحركة، حيث إن قوة الجاذبية وحدها تفسر حركة القمر. إضافة القوة العطالية، أي القوة الطاردة المركزية، غير صحيح لأن معلم الدراسة، الذي لم يوضح، عطالي ولا يحتاج إلى قوة ثانية.

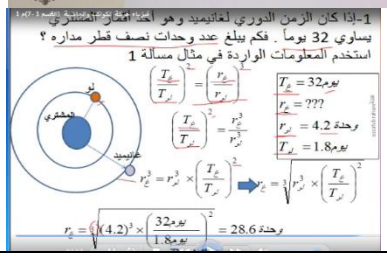
وفقًا لهذه الرسوم التي لا توضح معلم الدراسة، إذا كان المعلم عطاليًا فإن القمر سينفلت عن المسار الدائري ويواصل حركته بحركة مستقيمة منتظمة، حسب مبدأ العطالة.

استقراره على المدار الدائري أو الإهليجي ناتج عن قوة واحدة فقط، وهي قوة الجاذبية العامة المطبقة من الكوكب المركزي على القمر الذي يدور حوله. وجود قوة ثانية معاكسة للجاذبية يؤدي إلى انفلات القمر عن الدائرة ومواصلة الحركة في خط مستقيم.

وثائق حول أقمار المشتري

تمثل دراسة حركة أقمار المشتري فرصة ثمينة لعدة تمارين ونشاطات، خاصة على شكل **وضعية إدماجية**، وليس **مجرد تطبيق علاقة القانون الثالث** كما هو الحال في بلدان الخليج العربي، كما توضحه الصور المقابلة.





حسب الشكل وحدة 1.5≈r_{Lo} وr_{E} يساوي وحدة 2.5

ملاحظات حول التمارين:

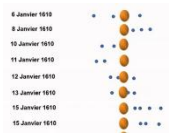
- تم ذكر أعمال غاليليو دون استغلالها بشكل كافٍ، إذ إن مشاهدته لحركة أقمار المشتري في سنة 1610 بأول منظار فلكي بسيط سمحت بتحطيم فكرة أن الأرض هي مركز الكون، وأن كل الأشياء تدور حولها، كما دعمت نظام كوبرنيكس (Copernicus) القائل بمركزية الشمس في الكون.
- ساعدت حركة هذه الأقمار خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر الملاحين في تحديد خط الطول لسفنهم في الليل
- رسم بسلم غير صحيح، ولا يسمح لحل بياني، بل يدعم الحل الحسابي فقط.
- في سنة 1676، اعتمد الفيزيائي رومير (Römer) على حركة القمر آيو (Io) لحساب سرعة الضوء، حيث توصل إلى قيمة تقارب 220000 km/s ، رغم بساطة الأدوات والنقص في دقة قياس قطر مدار الأرض حول الشمس. حاليًا، يُشتهر آيو بنشاطه البركاني، وصورته تُلقب بـ"البيتزا".

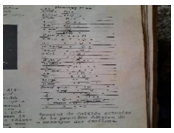
الأخطاء في النص والحل:

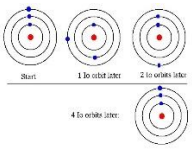
- خطأ مطبعي في اسم القمر، فهو آيو وليس لو (Lo)، وهو قمر مشهور بنشاطه البركاني المميز في النظام الشمسي.

هناك خطأ في قيمة عT_E، حيث إنها تساوي 7.2 يومًا وليس 32 يومًا. بالطبع قيمة ع r في الحل خاطئة، وهي تساوي 10 وحدات تقريبا.

- توجد ظاهرة فلكية نادرة تُعرف بالرنين المستقر، أي تأثير جاذبي دوري، حيث يمكن مشاهدة الأقمار على استقامة واحدة، كما رسمهم غاليليو.







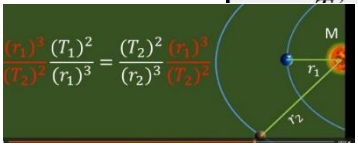
رسم غاليليو

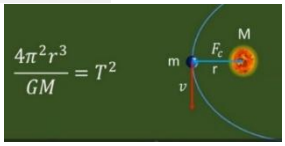
وثائق حول القانون الثالث لكبلر

العلاقة الأساسية العامة في القانون الثالث لكبلر هي:

$$T^2 = (4\pi^2/GM)a^3$$

حيث T هو دور حركة الكوكب، و a نصف القطر الأعظمي لمداره الإهليجي (**وليس متوسط البعد بين القمر والكوكب المركزي**)، و M كتلة الكوكب المركزي الجذاب، و G ثابت الجاذبية الكونية. يمكن





كتابة العلاقة العامة السابقة على عدة أشكال حسب هدف الدراسة، ولكل شكل بعض الفوائد وعدة نقائص نظرًا لغموض المصطلح ثابت K. على سبيل المثال، العلاقة $T^2 = Ka^3$ صالحة فقط في نظام كوكبي محدد، و K ثابت لكل الأجسام التي تدور حول الكوكب المركزي. على سبيل المثال، بالنسبة لجميع كواكب النظام الشمسي، K ثابت ويساوي $K = 3 \times 10^{-19} m^{-3} s^2$. نفس الملاحظة تنطبق على القمر والأقمار الصناعية حول الأرض، حيث يكون $K = 9.9 \times 10^{-14} m^{-3} s^2$. أما بالنسبة لأقمار المشتري فلـ K قيمة أخرى. من الفوائد تسهيل الحسابات لمختلف كواكب نظام معين. أما من أهم النقائص فهي تهميش دور العلاقة في تحديد كتل الكواكب والنجوم وتُسمى العلاقة بالميزان الكوني. استغلال هذه العلاقة أدى إلى اكتشافات عديدة مثل الثقوب السوداء، خاصة الثقب المركزي لمجرتنا.

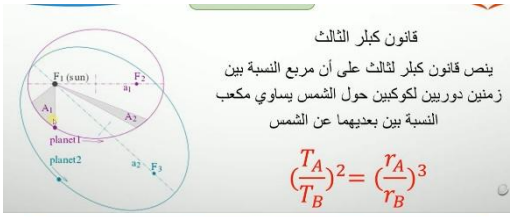
في حالة النظام الشمسي، وباختيار وحدات ملائمة T بالسنوات الأرضية و a بالوحدة الفلكية، أي نصف قطر مدار الأرض حول الشمس، تأخذ العلاقة شكلًا خاصًا وهو $1^2 = K1^3$، ومنه $K = 1$ والعلاقة تصبح $T^2 = a^3$ [3] كما هو موضح في الصورة المقابلة. من الجانب التعليمي، يؤدي استعمال هذه العلاقة دون توضيح وحدات T و a إلى النتائج السلبية التالية:

- شكل العلاقة يتناقض مع خاصية أساسية للعلاقات الفيزيائية، وهي تجانس الطرفين.
- استعمال وحدات معقدة بالنسبة للتلاميذ، مثل السنة الضوئية AL (a.l) والوحدة الفلكية UA (u.a).

لمقارنة حركة عدة كواكب حول كوكب مركزي بمدارات مختلفة، يمكن استعمال العلاقة $\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$ حيث a يمثل نصف القطر الأعظمي للإهليج.

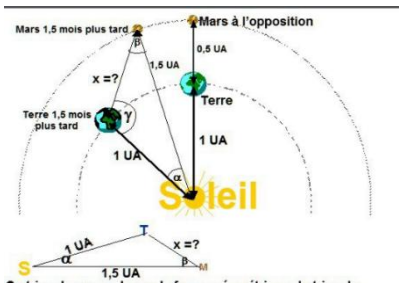
- لا يجب استعمال الرمز r في مكان

Kepler's 3rd Law
$T^2 = A^3$
The square of the period of any planet is proportional to the cube of the semimajor axis of its orbit



Planète	Rayon r (UA)	Période T (années)	Rapport T^2/r^3
Mercure	0,387	0,241	1,002
Vénus	0,723	0,615	1,001
Terre	1,000	1,000	1,000
Mars	1,524	1,881	1,000
Jupiter	5,203	11,862	0,999
Saturne	9,534	29,456	1,001

استعمال الوحدة الفلكية UA في تحديد أوضاع الكواكب



aكما هو الحال في الصور المقابلة، مع تعابير مبهمة مثل "بعد متوسط" أو "بعد بين الكوكب والشمس"، ويجب تحديده بوضوح كنصف القطر الأعظمي للإهليج. يمكن استعمال الرمز r في العلاقة في حالة عدة كواكب كلها بمسارات دائرية حول الكوكب المركزي.	

خلاصة

سنقدّم في مقال لاحق، إن شاء الله، اقتراحات للمعالجة تتعلق بتوضيحات علمية وتعليمية حول النقائص الواردة في هذا المقال. ستشمل هذه الاقتراحات المقاربة التاريخية، من كوبرنيكس إلى تيخو براهي وكبلر، ثم غاليليو ونيوتن. كما سنتطرق إلى كيفية توظيف الطاقة لتفسير قوانين كبلر، ووجود عبارة الطاقة الكامنة الجاذبية والطاقة الميكانيكية والسرعة المدارية على الإهليج. إضافة إلى ذلك، سنقترح أنماطًا من التمارين تتماشى مع خصائص الوضعية الإدماجية، وهي أساس المقاربة بالكفاءات.

المراجع

[1] وزارة التربية الوطنية. مناهج التعليم الثانوي، 2005.
[2] الديوان الوطني للامتحانات والمسابقات، امتحان شهادة البكالوريا، مادة العلوم الفيزيائية.
[3] المركز الوطني للتعليم عن بعد، دروس العلوم الفيزيائية للسنة الثالثة ع. ت. و ر. و ت.ر.
[4] عدد كبير من المواقع الإلكترونية عبر شبكة الإنترنت.