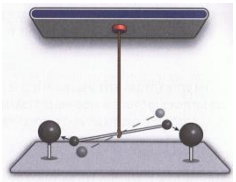
فسيفساء، تعريفات، مبادئ، ملاحظات ، نقاط مهمة، توصيات عملية، سريان المفعول وكيف توصلنا

الجاذبية

https://www.youcube.co.il

النجوم	لاحظ العلماء في العصور القديمة أن النجوم كانت ثابتة في مكانها وتتحرك في حركة دائرية حول الأرض.
الكواكب السيارة	النجوم التي تتحرك في حركة أكثر تعقيدًا من حركة النجوم كانت تسمى الكواكب.
ارسطو	عاش منذ حوالي 2400 عام، ويُعرف بالفيلسوف العظيم في العصور القديمة. قام بتقسيم العالم إلى عالمين، العالم العلوي أو فوق القمري حيث تتكون جميع الأجسام الشمس والنجوم من مادة تسمى أثير، حركتهم الطبيعية هي حركة دائرية ولا يوجد بهذا العالم ولادة أو موت. والعالم الجوفي حيث تتكون كل الأجسام من أربعة عناصر: النار والماء والهواء والأرض وحركتهم الطبيعية هي الحركة في خط مستقيم. يوجد في العالم السفلي ولادة وموت. لاحظ أرسطو صورة ظل الأرض على القمر فادّعى أن الأرض كروية. جادل أرسطو بأن حركة الأجسام على الأرض يتم تحديدها وفقًا لكتلتهم، بحيث إذا تم تحرير جسمان من ارتفاعات كبيرة، فإن الجسم الثقيل سيصل إلى الأرض قبل الجسم الخفيف.
نموذج مركزية الأرض	نموذج بموجبه تكون الأرض في حالة سكون وتتحرك النجوم والكواكب السيارة حولها. وفقًا لنموذج الكواكب مركزية الأرض: الشمس، الزهرة، الشمس، المريخ، المشتري، زحل. يتحركون حول الكرة الأرضية. تم دعم هذا النموذج من قبل فيثاغورس أرسطو بطليموس والكنيسة. لشرح حركة الكواكب وفقًا لنموذج مركزية الأرض، تصور Adoxus فكرة الكرات العملاقة، وجادل بطليموس بأن النجوم تتحرك من دمج حركتين دائريتين، حركة دائرية رئيسية وحركة دائرية ثانوية. ولكن على الرغم من كل شيء، واجه نموذج مركزية الأرض صعوبة في شرح حركة الكواكب بطريقة جيدة.
نموذج مركزية الشمس	نموذج بموجبه تستقر الشمس في المركز وتتحرك جميع النجوم والكواكب مع الأرض حولها. تم تبني هذا النموذج من قبل: كوبرنيكوس الذي ابتكر الفكرة وجاليليو جاليلي الذي راقب النجوم باستخدام التلسكوب. وفقًا لنموذج مركزية الشمس، هناك ستة كواكب سيارة: عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري وزحل. كان النموذج قادرًا على شرح حركة الكواكب السيارة ببساطة بما في ذلك ظاهرة التراجع ويتضمن حقيقة أن بعض النجوم يمكن رؤيتها بزوايا صغيرة بالنسبة للشمس. واجه العلماء في ذلك الوقت صعوبة في قبول حقيقة أنّ الكرة الأرضية كانت تتحرك، وبدا كل شيء ثابتًا نسبة للكرة الأرضية. بالإضافة إلى ذلك إذا كانت الكرة الأرضية هي الأهم من بين جميع الكواكب السيارة فيجب أن تقع في المركز.
تيخو براها	عاش منذ حوالي 500 عام، قام بتسجيلات دقيقة لأكثر من 1000 نجم بدقة عالية. وصف Ticho نجمًا بذيل خاص عبر الكرات العملاقة لـ Addus. (اليوم يسمى هذا النجم بالمذنب) وبالإضافة إلى ذلك، لاحظ نجمًا الذي زاد سطوعه حتى اختفى النجم ولم يعد يُرى، وقدّر تيخو أنّ النجم قد مات خلافًا لرأي أرسطو. رأى تيخو أن الكواكب السيارة تتحرك حول الشمس لكنه لم يتقبل نموذج مركزية الشمس وقد ادّعى أن الكواكب السيارة تتحرك حول الشمس، والشمس جنبًا إلى جنب مع الكواكب السيارة تتحرك حول الأرض.

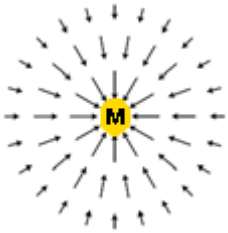
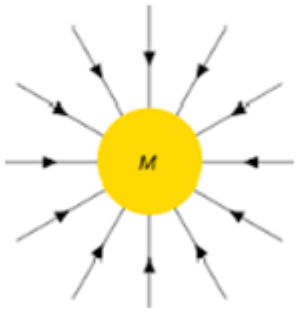
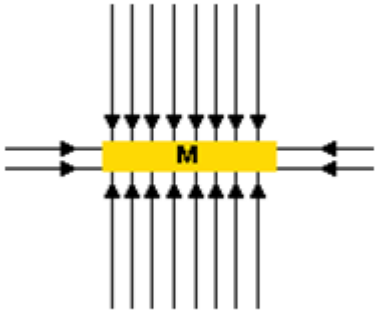
جاليليو جاليلي	**عاش منذ حوالي 450 عامًا، قام ببناء أول تلسكوب وأدرك أن الكواكب السيارة تبدو بحالة حركة بسبب قربها وأن النجوم تبدو ثابتة بسبب بعدها. دعم نموذج مركزية الشمس. ادّعى أنّه عند اطلاق جسمين بكتلتين مختلفتين من نفس الارتفاع سيصلان إلى الأرض معًا على عكس ادّعاء أرسطو.** **اكتشافاته:** **1. للقمر جبال ووديان مثل الأرض.** **2. كوكب المشتري له أربعة أقمار.** **3. درب التبانة عبارة عن تراكم ضخم للنجوم.** **4. الكوكب السيار الزهرة له مظاهر مشابهة للقمر.** **وضعت الكنيسة غاليليو قيد الإقامة الجبرية حتى يومه الأخير، وتمكن من إصدار كتاب "حوار حول الأنظمة العالمية الرئيسية" يعبر فيه عن أفكاره.**
يوهانس كبلر	**عاش منذ حوالي 450 عامًا في زمن جاليليو، وكان مساعد تيخو براها، وتزوج ابنة تيخو. بعد وفاة تيخو، وجد كبلر قانونية حركة الكواكب السيارة حسب سجلات تيخو. صاغ ثلاثة قوانين صحيحة لكل حركة من الكواكب السيارة:** **1- يتحرك كل كوكب في مسار إهليلجي، ويكون لهذا المسار بؤرتان، بحيث أنّ الشمس تقع في احدى هاتين البؤرتين.** **2- قانون المساحات المتساوية - الخط الذي يصل مركز الكوكب السيار بمركز الشمس يغطي مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية. ويترتب على ذلك أنه كلما اقترب الكوكب من الشمس، زادت سرعة حركته.** **3- لكل كوكب نصف قطر مداري مختلف وزمن دورة مختلف. بحيث أنّ النسبة بين مربع زمن الدورة ومكعب نصف قطر المسار ثابت لجميع الكواكب السيارة.** $$\frac{T^2}{R^3} = CONST$$
إسحاق نيوتن	**ولد نيوتن قبل وفاة جاليليو بفترة قصيرة. حدد نيوتن المقادير الفيزيائية، في الميكانيكا طوّر مجالات كنيماتيكا الديناميكيات وكمية الحركة. من خلال رؤية قوانين الحركة الثلاثة لكبلر، أدرك أن جميع الكواكب تتحرك تقريبًا في حركة دائرية وأن القوة الجاذبة نحو المركز والتي تعمل بين الكوكب السيار والشمس تتناسب طرديًا مع كتلة كل منهما وتتناسب عكسيًا مع مربع البعد بينهما (هذه القوة هي الجاذبية العامة). كتب نيوتن معادلة الحركة لكوكب سيار وبيّن أنه لكل كوكب سيار يتحقق:** $$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M}$$ **كما أظهر كبلر في القانون الثالث.**
القانون العام للجاذبية	**ينجذب الجسمان إلى بعضهما البعض وفقًا لكتلتهما والبعد بين الجسمين ، حسب الصيغة:** $$F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{R^2}$$ $$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{Kg^2}$$ **مقدار ثابت الجاذبية:** **بمساعدة قانون الجاذبية يمكن شرح:**

	1. لماذا مقدار تسارع الجاذبية g على سطح الأرض هو 9.8 متر لكل ثانية مربعة. معادلة الحركة لجسم يتحرك في حالة سقوط حر عندما تكون القوة التي تعمل على الجسم هي قوة الجاذبية العامة. عندها البعد بين الجسمين يساوي نصف قطر الأرض. 2. ظاهرة المد والجزر بسبب أنّ القمر يعمل قوة على مياه البحر صعودا وهبوطا. 3. لماذا تستمر السنة ثلاثمائة وخمسة وستين يومًا. يتم تحديد السنة حسب الزمن الذي تستغرقه الكرة الأرضية في دورانها حول الشمس، إذا كتبنا معادلة الحركة الدائرية لحركة الكرة الأرضية، فإن زمن الدورة الذي نحصل عليه هو حوالي 365 يومًا. 4. منذ حوالي 230 عامًا اكتشف العلماء كوكب أورانوس الكوكب السابع، ومسار كوكب أورانوس لا يتوافق مع كتلة الكوكب وقانون الجاذبية العام، لذلك قدر العلماء أن هناك كوكبًا آخر يؤثر على أورانوس وبمساعدة الحسابات الرياضية، قد تم اكتشاف كوكب آخر يتحرك حول الشمس ويؤثر على أورانوس، وقد أطلق على هذا الكوكب اسم نبتون وهو النجم الثامن في المجموعة الشمسية. قوة الجاذبية ضعيفة جدا بسبب قيمة G. حتى نهاية حياته لم يتمكن نيوتن من إيجاد مقدار الثابت G.
حركة الأقمار الاصطناعية	أدرك نيوتن أنه إذا تم إطلاق جسم ما في اتجاه أفقي من مكان مرتفع، فهناك احتمال أن يسقط الجسم بتسارع g بحيث يتحرك حول الكرة الأرضية، تمامًا كما تتحرك الكواكب السيارة حول الشمس. يسمى الجسم الذي يتحرك حول كوكب سيار في مثل هذه الحركة قمرًا اصطناعيًا. لكل قمر اصطناعي يدور حول كوكب سيار سرعة خطية تتعلق بنصف قطر مساره حول الكوكب. ويتحقق: $$V=\sqrt{\frac{G\cdot M}{R}}$$ يمكن استنتاج هذا التعبير من معادلة الحركة للحركة الدائرية، حيث تكون القوة الجاذبة نحو المركز هي قوة الجاذبية العامة. إذا كانت سرعة القمر الاصطناعي عالية جدًا، فسيبتعد عن الكوكب. وإذا كانت السرعة صغيرة جدًا، فسوف يسقط القمر الاصطناعي نحو الكوكب. حركة الأقمار الاصطناعية هي حركة حرة أي حركة بتأثير قوة الجاذبية، لذلك لا يشعر رواد الفضاء داخل القمر الاصطناعي بقوة الجاذبية، فهم يتطايرون داخل القمر الاصطناعي. من خلال حركة القمر الاصطناعي، من الممكن حساب كتلة الكوكب الذي يتحرك حوله القمر الاصطناعي. في منطقة خط الاستواء، تكون السرعة الخطية هي الأكبر، لذلك لتوفير الطاقة، يتم إطلاق الأقمار الاصطناعية من المنطقة الاستوائية.
هنري كفانديش	بعد أربع سنوات من وفاة نيوتن ولد هنري كافنديش، استخدم كافنديش قوى الالتواء لإيجاد قيمة ثابت الجاذبية العام. 

الطاقة الوضعية للجاذبية	**الطاقة الوضعية للجاذبية mgh ملائمة لقوة ثابتة mg. كلما ابتعدنا عن الأرض تقل قيمة تسارع الجاذبية. لذلك لا يمكن استخدام التعبير للطاقة الوضعية mgh في تفعيل اعتبارات الطاقة في وصف حركة الجسم الذي يبتعد عن الكرة الأرضية.** **تتغير قوة الجاذبية وفقًا للجاذبية العامة، فقد قمنا بملائمة طاقة وضعية لقوة الجاذبية العامة، وقمنا بملائمة طاقة جاذبية جديدة:** $$U = -\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$$ **إذا وصفنا القوة التي تعمل على جسم متحرك تحت تأثير قوة الجاذبية فقط في الرسم البياني للقوة كدالة لبعد الجسم عن مركز الكرة الأرضية، نحصل على دالة غير خطية، المساحة المحصورة بين الرسم البياني للدالة ومحور البعد تساوي الشغل، استخدمنا حساب التكامل وتوصلنا لتعبير الشغل** $$w = \int_{x_2}^{x_1} F(r)\,dr = \int_{x_2}^{x_1} \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2}\,dr$$ $$w = G \cdot M \cdot m \int_{x_2}^{x_1} r^{-2} dr = G \cdot M \cdot m \left[-\frac{1}{r}\right]_{x_2}^{x_1} dr$$ $$w = G \cdot M \cdot m \left[\left(-\frac{1}{x_1}\right) - \left(-\frac{1}{x_2}\right)\right]$$ $$w = G \cdot M \cdot m \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1}\right) = \frac{G \cdot M \cdot m}{x_2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{x_1}$$ **استخدمنا تعبير الشغل في قانون الشغل والطاقة، وتوصلنا إلى التعبير الذي يصف حفظ الطاقة، في التعبير الذي حصلنا عليه يمكن أن نميّز الطاقة الوضعية للجاذبية الملائمة لقوة الجاذبية العامة.** $$E_{K1} - \frac{G \cdot M \cdot m}{x_1} = E_{K2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{x_2}$$ **تكون طاقة الوضع للجاذبية سالبة لأننا إذا قمنا بعمل شغل إيجابي على كتلة قريبة من كتلة أخرى وجعلنا الكتلة تستقر إلى نقطة المالانهاية أي الى نقطة بعيدة جدًا، فإن الطاقة الكلية ستكون صفرًا. لذلك، قبل أن ننفذ الشغل، تكون الطاقة الكلية سالبة.**
حفظ الطاقة الميكانيكية	**إذا كان الجسم يتحرك تحت تأثير الجاذبية فقط، يتم حفظ الطاقة الميكانيكية الكلية وتكون مجموع كمية الطاقة الحركية والطاقة الوضعية للجسم ثابتة في كل مكان أثناء حركة الجسم. ويتحقق:** $$E_{K1} - \frac{G \cdot M \cdot m}{x_1} = E_{K2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{x_2}$$ **عندما استخدمنا الطاقة الوضعية mgh ، h يمثل البعد من المستوى النسبي.** **في الطاقة الوضعية الملائمة لقوة الجاذبية العامة، R تعني البعد بين الجسمين** **إذا لم تكن الأجسام نقطية، فيجب الأخذ بالحسبان البعد بين مراكز الأجسام.** **بمساعدة حفظ الطاقة الميكانيكية، يمكن ايجاد العلاقة بين سرعة الجسم المتحرك تحت تأثير الجاذبية فقط والبعد بين مراكز الأجسام بدقة.**

سرعة الهروب	سرعة الهروب هي أقل سرعة يمكن أن يقذف بها جسم من أي كوكب دون أن يعود الجسم إلى الكوكب. تتعلق سرعة الهروب بكتلة الكوكب ونصف قطره وفقًا لما يلي: $$V_e = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M_E}{R_E}}$$ حتى عندما يُقذف الجسم بسرعة ولا يعود إلى الأرض، يتم الحفاظ على طاقته الميكانيكية الكلية طوال حركته. بعد زمن طويل من قذف الجسم، تكون سرعته صفرًا، وبالتالي تقترب الطاقة الحركية للجسم إلى الصفر. سيكون البعد بين الجسم المقذوف من الكوكب بعد فترة طويلة كبير جدًا، لذا فإن طاقة الوضع للجاذبية ستكون صغيرة جدًا، ومن الممكن بعد زمن طويل أن تقترب الطاقة الميكانيكية الكلية للجسم إلى الصفر. من حفظ الطاقة حتى في لحظة القذف تقترب طاقة الجسم إلى الصفر، وصلنا إلى تعبير سرعة الهروب حسب الحالة التي تكون فيها الطاقة الميكانيكية الكلية مساوية للصفر: $EK_A + U_A = 0$ $\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_A^2 + (-\frac{G \cdot M \cdot m}{R}) = 0$ $\frac{1}{2} V_A^2 = \frac{G \cdot M}{R}$ $V_e = V_A = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$ كلما زادت كتلة الجسم الذي تم قذفه، وكلما قلّ نصف قطر الكوكب، تزداد سرعة الهروب. يمكن القول أنّه كلما زادت كثافة الكوكب (نصف قطره صغير وكتلته كبيرة) زادت سرعة الهروب. مقدار سرعة الهروب من سطح الأرض حوالي 11170 مترًا في الثانية.
الثقوب السوداء	أكبر سرعة في الطبيعة هي سرعة الضوء، فالأجسام لا تستطيع أن تتحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء. هذا يعني أنه إذا كانت كثافة الكوكب كبيرة جدًا بحيث تكون سرعة الهروب من الكوكب في الحالة الحدية مساوية لمقدار سرعة الضوء، فلا يمكن رمي جسم وإخراجه من الكوكب. في مثل هذه الحالة، يُطلق على الكوكب اسم ثقب أسود لأنه حتى الضوء لا يمكنه الهروب من الكوكب.
نصف قطر شوارزشيلد	لكل كوكب وفقًا لكتلته يوجد أكبر نصف قطر يُعرَّف فيه الكوكب بأنه ثقب أسود، ونصف القطر هذا يعرّف نصف قطر شوارزشيلد. $$R = \frac{2 \cdot G \cdot M}{C^2}$$ يمكن الحصول على نصف قطر شوارزشيلد حسب تعبير سرعة الهروب نسبة لسرعة قذف تساوي سرعة الضوء. يبلغ نصف قطر شوارزشيلد للكرة الأرضية حوالي 9 ملم. لذلك إذا كان للكرة الأرضية نصف قطر أصغر من 9 ملليمترات، فستكون الكرة الأرضية ثقبًا أسودًا.

الأقمار الاصطناعية واعتبارات الطاقة	يتحرك قمر اصطناعي كتلته m حول كوكب كتلته M في حركة دائرية بتأثير قوة الجاذبية العامة فقط والتي بدورها تكون القوة الجاذبة نحو المركز. معادلة الحركة الدائرية للقمر الاصطناعي: $\frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$ تعمل قوة الجاذبية فقط على القمر الاصطناعي لذلك يتم حفظ طاقته الميكانيكية الكلية: $E_T = E_K + U_G$ $E_T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 + \left(- \frac{G \cdot M \cdot m}{r} \right)$ من الممكن التعبير عن إجمالي الطاقة الميكانيكية كدالة لنصف قطر مسار القمر الاصطناعي فقط، وفقًا لـ: $E_T = - \frac{G \cdot M \cdot m}{2r}$ توصلنا إلى تعبير الطاقة الكلية كدالة لنصف قطر المسار من تعويض مربع السرعة من معادلة الحركة في الطاقة الحركية في تعبير الطاقة الميكانيكية الكلية. بشكل عام، في حركة كل قمر اصطناعي (بما في ذلك: القمر حول الكرة الأرضية، أو الكرة الأرضية حول الشمس) تكون طاقة الوضع للجاذبية أكبر بمرتين من الطاقة الحركية: $U_G = -2 \cdot E_K$ يمكن الوصول إلى هذا الاستنتاج بعد إجراء عدد من العمليات الحسابية على معادلة الحركة: $\frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r}$ $\frac{G \cdot M \cdot m}{r^{\cancel{2}}} = \frac{m \cdot v^2}{\cancel{r}}$ $\frac{1}{2} \cdot \frac{G \cdot M \cdot m}{r^{\cancel{2}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot v^2}{\cancel{r}}$ $E_K = \frac{G \cdot M \cdot m}{2r}$ $E_K = - \frac{1}{2} \cdot U_G$ $U_G = -2 \cdot E_K$

حقل الجاذبية	**حقل الجاذبية هو مقدار فيزيائي يصف تأثير الكتلة على نقطة في الفضاء في شكل متجه.** **يتم تحديد شدة حقل الجاذبية لكتلة ما بنقطة معينة حسب:** $$\vec{g^*} = \frac{\vec{F}_g}{m}$$  **تسمى مجموعة متجهات الحقل حول كتلة ما بالفضاء الاتجاهي وهي تصف تأثير الكتلة على الفضاء.** **من تعريف حقل الجاذبية، يكون اتجاه متجه الحقل في كل نقطة هو اتجاه القوة التي ستعمل على كتلة أخرى موضوعة في تلك النقطة. وكلما ابتعدنا عن الكتلة التي تُنشئ الحقل، كلما صغّر مقدار متجه الحقل.** **يصف متجه الحقل مقدار تأثير الجاذبية على كل 1 كغم من الكتلة في كل نقطة.** **شدة حقل الجاذبية في نقطة تبعد r عن كتلة مقدارها M معطاة بواسطة:** $$g^* = \frac{G \cdot M}{r^2}$$ **يمكن الحصول على هذا التعبير عن طريق تعويض الجاذبية العامة في تعريف الحقل.**
خطوط الحقل	**خطوط الحقل هي خطوط وهمية متواصلة اتجاهها بكل نقطة تمثل اتجاه حقل الجاذبية. من المتّبع وصف تأثير الكتلة على الفضاء بواسطة خطوط الحقول وليس بواسطة الفضاء الاتجاهي.** **תרשים א'**  **يتم تحديد شدة الحقل حسب كثافة خطوط الحقل.** **تكون اتجاه خطوط الحقل باتجاه متجه الحقل - من اللانهاية إلى الكتلة.** **عدد خطوط الحقل يتناسب طرديًا مع كتلة الجسم.** **يمكن لخطوط الحقل أن تنحني، إلا أنهم لا يمرون عبر المنطقة التي تكون بها شدة الحقل مساوية للصفر.** **خطوط الحقل تكون متعامدة لسطح الجسم.** **תרשים ב'**  **يمكن أن تكون خطوط الحقل خطوط شعاعية كما هو الحال في الشكل "أ" أو خطوط متوازية كما هو الحال في الشكل "ب".** **في المجال الذي يكون به خطوط الحقل خطوطًا شعاعية يُطلق عليه اسم الحقل الشعاعي. تقل شدة الحقل في الحقل الشعاعي كلما ابتعدنا عن الكتلة التي منها يتكون الحقل.** **يُطلق على الحقل الذي تكون به خطوط الحقول متوازية حقلًا متجانسًا. تكون شدة هذا الحقل ثابتة في كل نقطة ولا تتغير حتى لو ابتعدنا عن الكتلة التي يتكون منها حقل الجاذبية.**

مميّزات حقل الجاذبية	حقل الجاذبية هو ليس مجرد وصف رياضي لحيّز الكتلة، حقل الجاذبية موجود حقا في الفضاء. وهذا له آثار عملية. لا يصل الحقل الذي كونته الكتلة إلى أي مكان خلال زمن صفر. ينتشر حقل الجاذبية في الفضاء بسرعة الضوء. مثال عملي على أهمية حقل الجاذبية، أشعة الضوء التي تصلنا من الشمس تتحرك لمدة ثماني دقائق. إذا توقفت الشمس عن الوجود في لحظة معينة، فسوف يصل ضوء إلى الأرض لمدة ثماني دقائق بعد هذه اللحظة. وبصورة مماثلة، ستستمر الجاذبية في التأثير على الأرض لأكثر من ثمانية دقائق أخرى، في هذه الدقائق ستستمر الأرض في التحرك في حركة دائرية كالمعتاد! يرجى الانتباه: ينتشر الحقل من الكتلة إلى اللانهاية ولكن اتجاهها من اللانهاية نحو الكتلة. تماما كما هو الحال عندما يركض شخصًا ما نحو اليمين وخلال ركضه يعمل قوة نحو اليسار.
القوى الأساسية في الطبيعة	في الطبيعة، تعمل أربع قوى أساسية: 1. قوة الجاذبية. 2. القوة الكهرومغناطيسية. 3. قوة نووية قوية. 4. قوة نووية ضعيفة. تشرح هذه القوى أي ظاهرة في عالمنا التي تحدث بين جسيمات الذرة وكذلك بين نجوم المجرات. أية قوة أخرى عرفناها سابقًا ليست إلا وصف بسيط لأحدى هذه القوى الأربع. على سبيل المثال، قوة الاحتكاك والقوة الطبيعية هي قوى كهربائية. يدعي العديد من العلماء أن جميع القوى الأربع تجسد قوة أساسية واحدة، والتي يمكن أن تصف كل القوى الأربع. عندما يحدث ذلك، ستكون هناك فكرة واحدة وسوف نستخدمها لفهم جميع مجالات الفيزياء.

https://www.youcube.co.il