صحة التطور تضاهي صحة الجاذبية



لقد أوجد التطور حيواناتٍ رائعة كهذا الترسير الفيليبيني.

ما يزال الناس في أغلب الأوقات يقلّلون من شأن التطور في النقاشات العامة باعتباره "**مجرد نظرية**" وهم مخطئون في ذلك، وللأسف يعزى هذا جزئياً إلى فهم خاطئ لما تعنيه كلمة "نظرية" في العلم حيث يتعارض هذا المعنى مع معناها في اللغة العامة. وحسب الاصطفاء الطبيعي فالتطور هو أكثر بكثير من مجرّد فرضية، فهو نظرية علمية مشروعة ومقبولة للغاية تماماً كنظرية الجاذبية، وما قدّمه داروين لعلم الأحياء يضاهي ما قدّمه نيوتن للفيزياء. وتلعب الرياضيات دوراً هاماً في كلتي النظريتين.

.

إذا بحثت عن معنى كلمة "**نظرية**" في المعجم ستجدها مرادفةً لكلمات مثل "اقتراح" أو "فرضية" أو حتى "تخمين"، وعلى عكس ذلك فالنظرية العلمية هي كتلة راسخة من المعارف المتعلقة بموضوع معيّن تدعمها حقائق منظورة وتجارب متكرّرة واستنتاجات منطقية. النظرية في العلم هي تفسير منهجي لأحد مظاهر العالم الطبيعي مُختبر ومبرهن بالملاحظة والتجريب المتأنيين، والنظرية الجيدة هي التي تُسفر أيضاً عن تكهّنات دقيقة ومفيدة. فلنتطرّق للجاذبية كمثال على ذلك.

الجاذبية Gravitation

في القرن السابع عشر صاغ إسحق نيوتن **Isaac Newton** قانون الثقالة **Law of Gravitation** الذي يشرح حركة الأجسام تحت التأثير الثقالي لبعضها البعض. ويمكن استخدام قانون نيوتن للتكهّن بحركة الكواكب حول الشمس، وقد سخّرت ناسا **NASA** هذا القانون لإنزال أشخاص بنجاح على سطح القمر ولإرسال مسبارات فضائية إلى الأطراف الخارجية للمجموعة الشمسية.

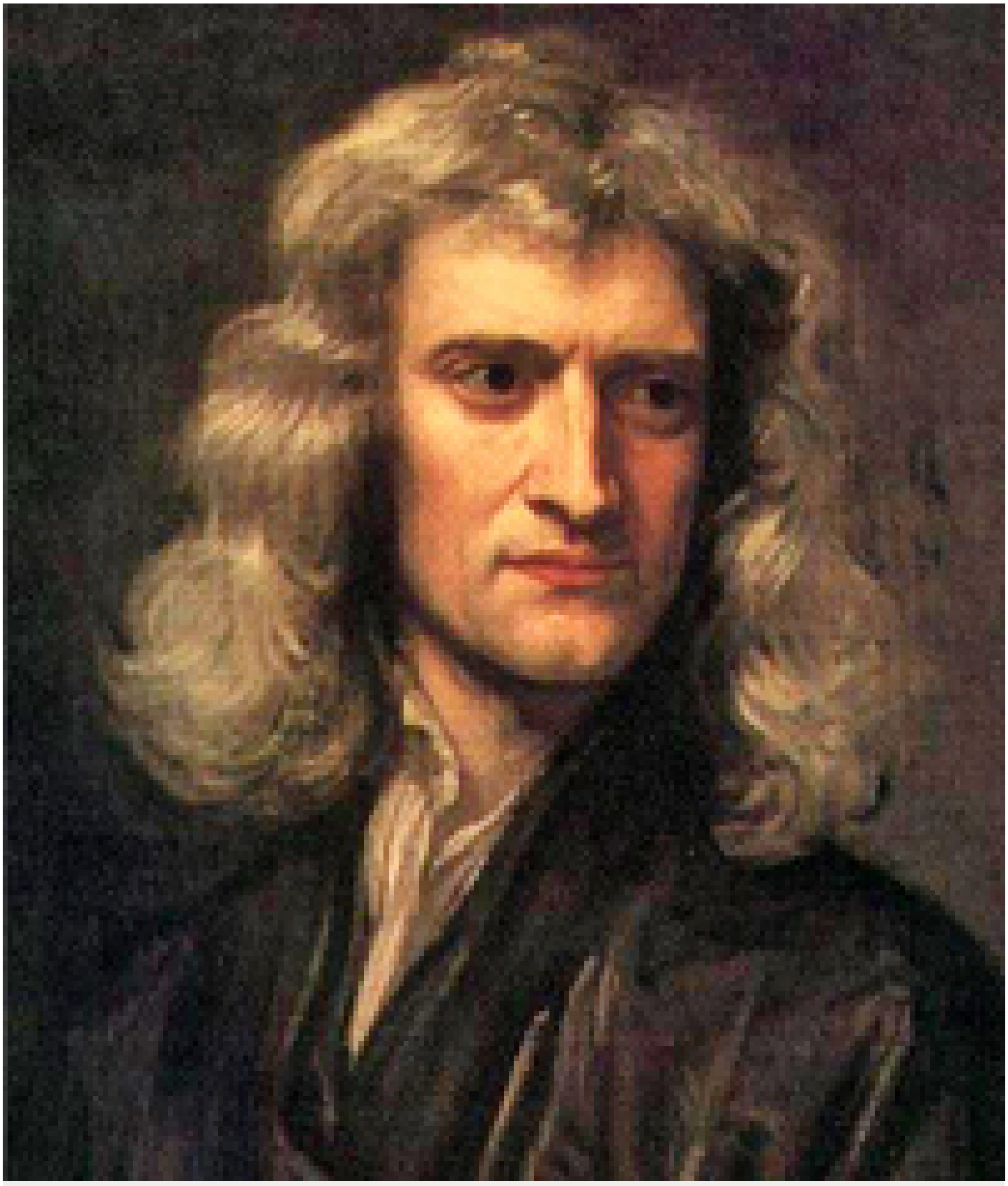
لكن لم يتمكن نيوتن ولا العديد من العلماء الذين تلوه من شرح ماهية الجاذبية بدقّة أو ما يسببها، فقد استندت نظرية نيوتن إلى مشاهدة الحركة الفعلية للأجسام ومن ثمّ استنتاج مبادئ عامة عن حركاتها تتوافق منطقياً مع تلك المشاهدات. ومع بدايات القرن العشرين بدا جليّاً أن قانون نيوتن لا يصلح لكل الظروف، فنظرية الثقالة صالحةٌ كليّاً عندما يتعلق الأمر بالكواكب وسقوط التفاح؛ لكن عندما تتحرك الأجسام بسرعاتٍ قريبة من سرعة الضوء مثلاً لا يعود بمقدور هذه النظرية إبراز تكهّنات دقيقة. لذا قام ألبرت آينشتاين **Albert Einstein** بتوسيع قانون نيوتن عندما طرح نظريته النسبية العامة **General Theory of Relativity** التي أظهرت هذه الفروقات.

قانون الثقالة الخاص بنيوتن

على فرض لديك جسمان ولنقل الشمس والقمر كتلتاهما\(m1\) و \(m2\) على التوالي، ولتكتب \(r\) كرمز للمسافة بين هذين الجسمين. عندها ينص قانون نيوتن على أن القوة الثقالية \(F\) بينهما هي:

(\{F=G \frac {m1m2}{r^2)\

حيث \(G_N\) هو عدد ثابت يُعرف ب"ثابت نيوتن" **Newton's constant**.



إسحق نيوتن (1643 ـ 1727)

خلال الستينيات من القرن الماضي افترض العالم بيتر هيغز **Peter Higgs** وغيره وجود جزيئة تُعرف الآن باسم بوزون هيغز (**Higgs boson**) تفسر سبب وجود كتلة لبعض الجسيمات الأولية، وبالطبع فإن الكتلة ترتبط مباشرة مع الجاذبية حيث يخبرنا كلّ من نيوتن

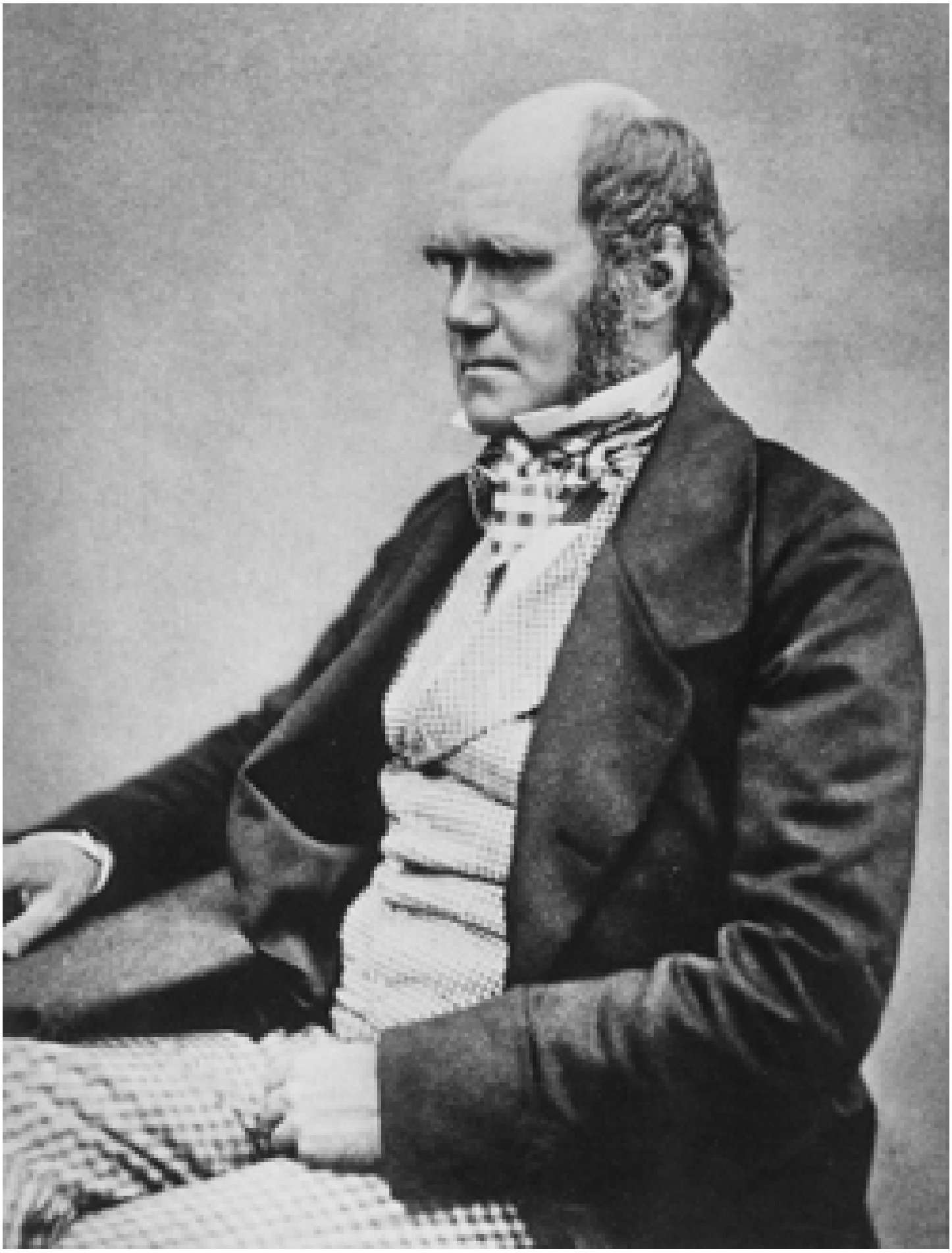
وأينشتاين أنّ الأجسام المصمتة هي التي تخضع للشدّ الثقالي. وهكذا عمّق هذا التكهّن الناشئ عن فيزياء الجسيمات الرؤية في أبحاث الجاذبية، وبُني افتراض "**بوزون هيغز**" على الاستنتاج الرياضي البحت لعدم وجود طريقة لمشاهدة تلك الجسيمات في هذه الحالة. وقد أعلنت منظمة الأبحاث النووية الأوروبية "سيرن" **CERN** منذ عدة سنوات فقط إثباتهم لهذا التكهّن بواسطة مصادم الجسيمات خاصّتهم الذي تصل قيمته لملايين الدولارات.

إن نظرية الثقالة هي نظرية علمية عميقة الجذور ومدعومة بالإثبات البصري والتجريبي، وهي تفسّر جانباً متعلّقاً بالعالم الطبيعي ويمكن تطبيقها بشكل مباشر للحصول على نتائج مفيدة. وبمرور السنوات جرى توسيع هذه النظرية وتشذيبها (بوصفها جزءاً من العملية العلمية المعتادة) لكن أفكارها ومبادئها الرئيسية صمدت أمام اختبارات الزمن.

والآن لنلقِ نظرة على التطور.

التطور Evolution

في القرن التاسع عشر صاغ تشارلز داروين **Charles Darwin** نظرية التطور حسب الإصطفاء الطبيعي، ولم تكن حقيقة تغيّر أو بالأحرى تطوّر الأنواع بمرور الزمن جديدة حيث كانت مقبولة على نطاق واسع بين العلماء المعاصرين لداروين. لكن ما قدّمه داروين كان عبارة عن تفسير منطقيّ جديد
لكيفية حدوث عملية التطور هذه.



تشارلز داروين (1809 ـ 1882)

يرث الأبناء صفاتهم عن الأبوين مع اختلافات صغيرة وعلى الأرجح عشوائية، لكن معظم الكائنات العضوية لديها أكثر من نسل واحد مما يؤدي لحدوث تنافس على الموارد والشركاء الأصحّاء ما بين أفراد الأنواع وضمن النوع الواحد. وهذا بدوره يُفضي إلى عملية اصطفاء طبيعي حيث يكون للأفراد ذوي الاختلافات الإيجابية نسل أكبر وسطياً من غيرهم مما يؤهلهم بشكل أكبر للبقاء وتأمين شركاء أصحّاء، وهكذا يغلب توريث هذه الاختلافات الإيجابية للأجيال اللاحقة مما يجعلها سائدة بشكل أكبر من الصفات السلبية (المجتثّة) ضمن جماعة من الأفراد.

وبدوران عجلة الزمن على المدى الطويل يمكن لهذه التغييرات المتراكمة أن تسفر في النهاية عن حدث نوعي جديد، مثلاً عندما ينقسم أفراد جماعة من الكائنات المتّصلة إلى قسمين معزولين جغرافياً مما يجعلها بالتالي تتطوّر باتجاهات مختلفة.

رغم ذلك لم يتمكن داروين ولا العديد من علماء الأحياء الذين تبعوه من شرح الكيفية الدقيقة لقيام الكائنات بوراثة صفاتهم من الأبوين، وقد بُنيت رؤى داروين على مشاهدة الكائنات فعلياً في الطبيعة ومقارنتها (بما فيها المستحاثات) ومن ثم استنتاج مبادئ عامة عن تطورها تنسجم منطقياً مع هذه المشاهدات.

مع ذلك بقيت نظرية التطور الخاصة بداروين تفتقر لجوانب عديدة فهي لم تطرح تكهّنات كمية على سبيل المثال، لكن خلال النصف الأول من القرن العشرين تمّ تطوير النظرية الرياضية لعلم وراثة الجماعات **population genetics**، وتطرح هذه النظرية تكهنات دقيقة حول مدى انتشار تباين جديد أي (طفرة وراثية) ضمن جماعة ما على سبيل المثال. وسرعان ما تمّ إقران نظرية داروين ووراثة الجماعات بما يعرف بالاصطناع التطوري الجديد أو الاصطناع الحديث.

في عام 1944 نشر عالم الفيزياء إيرفين شرودينجر **Irvin Schrodinger** كتابه "**ما هي الحياة؟**" حيث افترض وجود نوع محدّد من الجزيئات مشيراً إليه باسم "**البلورة اللادورية**" التي ستشكل أساس علم الوراثة المرتبط مباشرة بالتوريث، وهذا التكهّن الكيميائي عمّق الرؤية في أبحاث التطور. وقد اعتمد افتراض شرودينجر على الاستنتاج المنطقي البحت فلم تكن لديه أدنى وسيلة لمشاهدة بنية هذا الجزيء بصورة فعلية، وفي عام 1950 تمّ إثبات تكهنه مع اكتشاف بنية الحمض الريبي النووي **DNA** على يد جيمس واتسون **James Watson** وفرانيس كريك **Francis Crick** الذي أسفر في النهاية عن فكّ الشيفرة الوراثية (**genetic code**).



اللون الأزرق الساطع قد يساعدك في تأمين شريك ونشر مورّثاتك

تُستخدم نظرية التطور في أيامنا هذه في العديد من التطبيقات العملية. فعلى سبيل المثال عندما يظهر فيروس جديد في مكان ما ولنفترض آسيا يستخدم العلماء نماذج فيلوجينية [1] وأخرى متعلقة بوراثة الجماعات للتكهن بالكيفية المحتملة لتطور هذا الفيروس فيغدو بوسعهم ابتكار اللقاح الأشدّ فعالية قبل وصوله لأوروبا والولايات المتحدة. وتلعب الرياضيات دوراً هاماً هنا فلولاها ما أمكن وضع هذه التكهنات.

تُستخدم الطرائق المبنية على التطور أيضاً في المخابر للعثور على أدوية أفضل للأمراض المتنوعة أو في برامج الحاسوب لإيجاد حلول ناجعة لمسائل الأمثَلَة الصعبة (**optimisation problems**)، كما يزداد اعتماد السياسات البيئية على تحاليل تطورية وتحديداً فيلوجينية لاتخاذ قرارات بشأن الجهود المبذولة للحفاظ على الأنواع، وكل ذلك على سبيل المثال لا الحصر.

إن نظرية التطور هي نظرية علمية عميقة الجذور مدعومة بالإثبات البصري والتجريبي، وهي تفسّر جانباً متعلّقاً بالعالم الطبيعي ويمكن تطبيقها بشكل مباشر للحصول على نتائج مفيدة. وبمرور السنوات جرى وما زال يجري توسيع هذه النظرية وتشذيبها لكن أفكارها ومبادئها الرئيسية صمدت أمام اختبارات الزمن.

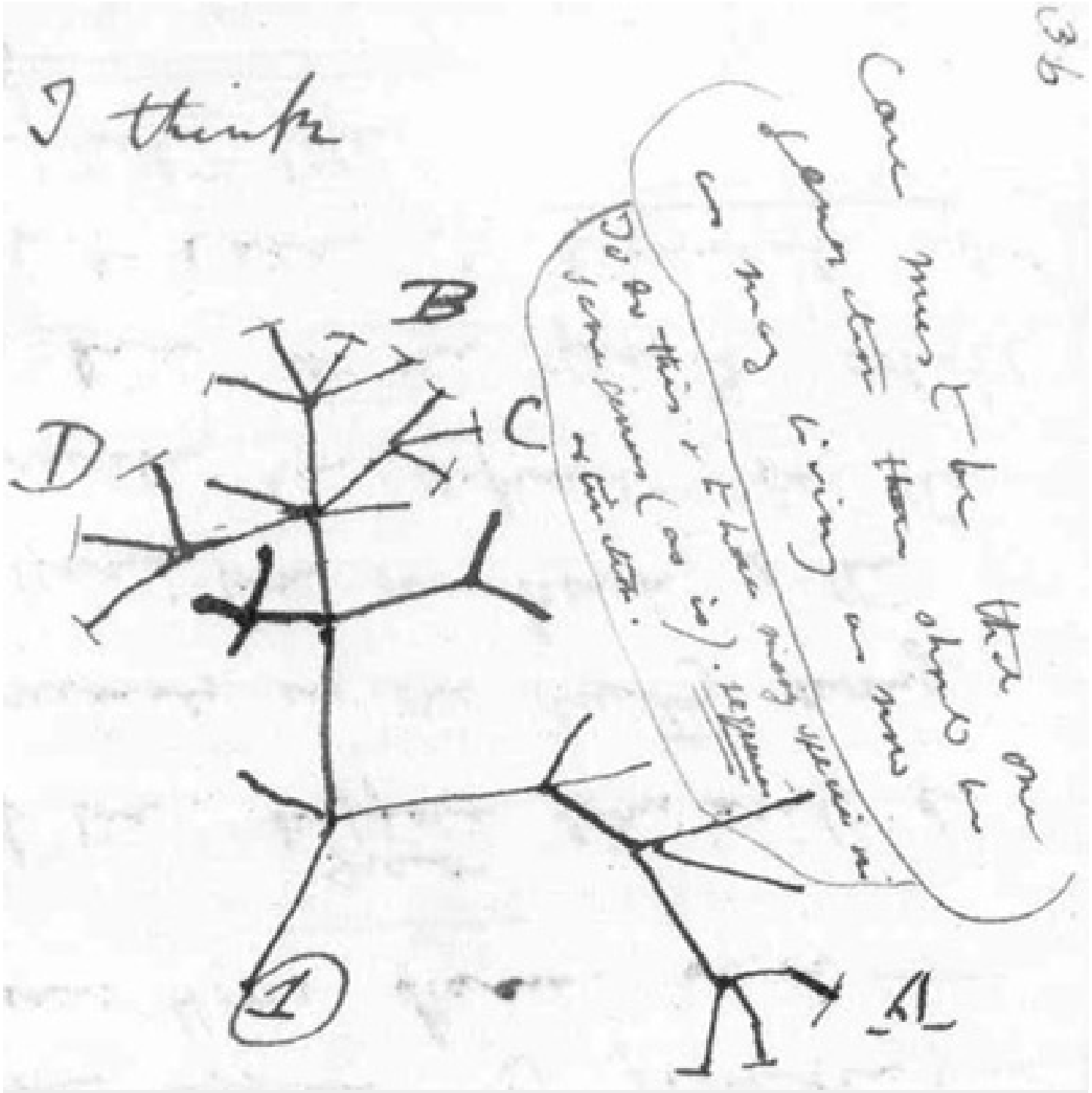
بالطبع فإن القصة المذكورة أعلاه هي مجرد تلخيصٍ بسيط حيث تمّ إغفال الكثير من التفاصيل الأدق والعلماء المساهمين. لكن لاحظ وجود تشابهات صاعقة بين نظريتي الثقالة والتطور من ناحية تطوّرهما عبر الزمن من جهة وقابليتهما للتطبيق العملي من جهة أخرى، وهذا يوضّح أن التطور ليس مجرد فرضية فهو نظرية علمية مشروعة شأنها شأن كنظرية الثقالة. وطالما أنّ الدماغ الأيمن للبشر لا يمكنه ادعاء عدم صحة نظرية الثقالة أو أن نيوتن كان مخطئاً، فلم يدّعي إذاً عدم صحة نظرية التطور وأن داروين كان مخطئاً؟

علم الفيلوجينات والرياضيات

كما ذكرنا أعلاه فقد كانت فكرة التطور (بمعنى التغير عبر الزمن) مقبولة سلفاً بين العلماء في زمن داروين لكن معظم العلماء كانوا يفكّرون بالتطور بشكل مرتبط بالأنساب المستقلة (**independent lineages**)، بمعنى آخر فإن الخيول تتطور لكنها تبقى خيولاً، كذلك الأمر بالنسبة لأزهار الخزامى والحمام وأسماك الرنكة أوأي نوع آخر من الأنواع.

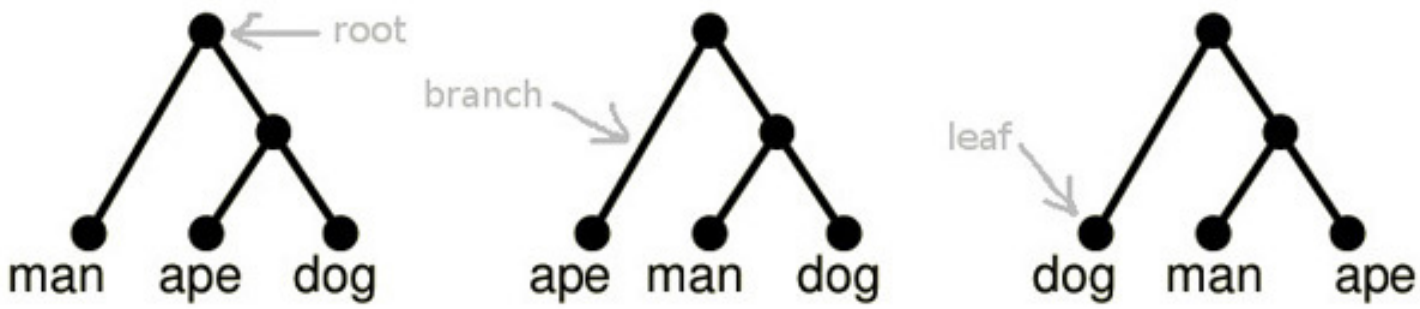
لكن إحدى الرؤى الكبرى التي طرحها داروين كانت تنصّ على أنّ التطور عملية تشعّبية، أي أنّ النوع يمكن أن يتغيّر ويتنوّع لدرجة أن ينقسم في النهاية إلى نوعين نسبة للعزل الجغرافي مثلاً؛ ثم يواصل كلّ من النوعين التطور على حدا. فعلى سبيل المثال تطوّر كلّ من البشر وقردة الشمبانزي بدءاً من سلف
مشترك من أنواع القردة كان يعيش منذ حوالي ستة إلى سبعة ملايين عام، وكل أنواع الطيور الموجودة حالياً لديها سلف مشترك ينتمي لمجموعة من الديناصورات تعرف باسم الثيروبودا (**theropoda**) كانت تعيش في الحقبة الجوراسية أي منذ 145 إلى 200 سنة.

وكنتيجة لذلك يمكن تصوير التطور كشجرة حيث تمثل أوراقها الأنواع الموجودة حالياً وتصل بينها الفروع التي تمثل الأسلاف المشتركة، ويشكل السلف المشترك الأقدم لكل الأنواع الأخرى جذر الشجرة. يُشار إلى هذه الشجرة التطورية بالشجرة الفيلوجينية (**phylogenetic tree**)، وإحدى أقدم الأشجار الفيلوجينية على الإطلاق رسمها داروين نفسه في أحد دفاتره من عام 1837.



أول رسومات داروين لشجرة الفيلوجينية افتراضية (1837)

لكن إحدى المشاكل الكبيرة التي واجهت إعادة إنشاء أشجار فيلوجينية هي وجود عدة طرق لرسم تلك الشجرة وواحدة منها فقط هي الشجرة الحقيقية التي تمثل العلاقات التطورية الصحيحة بين مجموعة من الأنواع. مثلاً بالنسبة للأنواع الثلاثة (البشر والقردة والكلاب) يمكن رسم الشجرة الفيلوجينية بثلاث طرق مختلفة (**لاحظ أن الأشجار الفيلوجينية ترسم دائماً رأساً على عقب أي الجذر في الأعلى**).



الطرق الثلاث الممكنة لرسم شجرة فيلوجينية لثلاثة أنواع

يبدو جلياً في هذه الحالة أن الشجرة من اليمين فقط يمكن أن تكون الشجرة الصحيحة لعلمنا أن الإنسان والقرد هما الأقرب ارتباطاً لبعضهما البعض من ناحية التطور، أي أنهما يتشاركان بسلف أحدث مما يتشارك به أي منهما مع الكلب. لكن بالنسبة لخمسة أنواع فعدد الأشجار الممكنة لحدّ الآن تجاوز المئة، أما بالنسبة لعشر أنواع فهو أكثر من 30 مليون.

عموماً إذا كان \(n\) هو عدد الأنواع الموجودة، فهناك

$$(2n-3)!!=(2n-3)\times(2n-5)\times(2n-7)\times\ldots\times3\times1)$$

شجرة ثنائية (متجذّرة) (انظر هنا لترى النتيجة). ويدعى التعبير أعلاه بالعاملي المضاعف (**double factorial**)، ويمكنك العثور على المزيد هنا. إذاً فالمشكلة تتمثل في كيفية الحسم أنّ أي من تلك الأشجار العديدة المحتملة لعدد ما من الأنواع هي الشجرة الصحيحة فعلاً.

والطريقة الأسهل والأسرع لإنشاء شجرة فيلوجينية هي ببساطة حساب المسافات الفاصلة بين أزواج الأنواع، فمثلاً بالنظر إلى البيانات الوراثية لسلاسل الـ **DNA** يمكن حساب المسافة بين نوعين باعتبارها عدد المواقع النيكلوتيدية في سلاسل **DNA** لهذين النوعين تباعاً حيث يختلفان فيما بينهما، وينجم عن ذلك شجرة يشترك فيها النوعان اللذان تفصلهما أقصر مسافة بالأسلاف الأحدث كالإنسان والقرد في الأعلى. لكن هذه الطريقة تفترض احتمال حدوث الطفرات (**أي التغيّرات الوراثية**) بنسبة ثابتة عبر الزمن وعبر تسلسل الـ**DNA**، لكن هذا الافتراض للأسف مفرط في التبسيط ويمكن أن يؤدي بسهولة لرسم شجرة خاطئة.



ليس بالضرورة أن تبقى الخيول خيولاً دوماً

بدلاً من ذلك يتمّ استخدام نماذج احتمالية معقّدة لكيفية حدوث التطور، ويشمل ذلك احتمال حدوث الطفرات بنسب تختلف عبر الزمان والمكان. لذا تستخدم طرائق الاحتمال الأقصى (**maximum likelihood methods**) لتقدير معايير النموذج ولتقييم مدى دقة توافق شجرة فيلوجينية ما مع البيانات الوراثية الفعلية. وأخيراً نظراً لعدم إمكانية تقييم جميع الأشجار المحتملة كونه أمراً مرهقاً تستخدم طرائق أمثَلَة إرشادية لمحاولة العثور على شجرة صحيحة منطقياً، وما زال علماء الرياضيات والحاسوب يعملون في الوقت الراهن على تحسين هذه الطرائق خاصةً بالنظر إلى الازدياد الدائم في البيانات الوراثية المتوفرة.

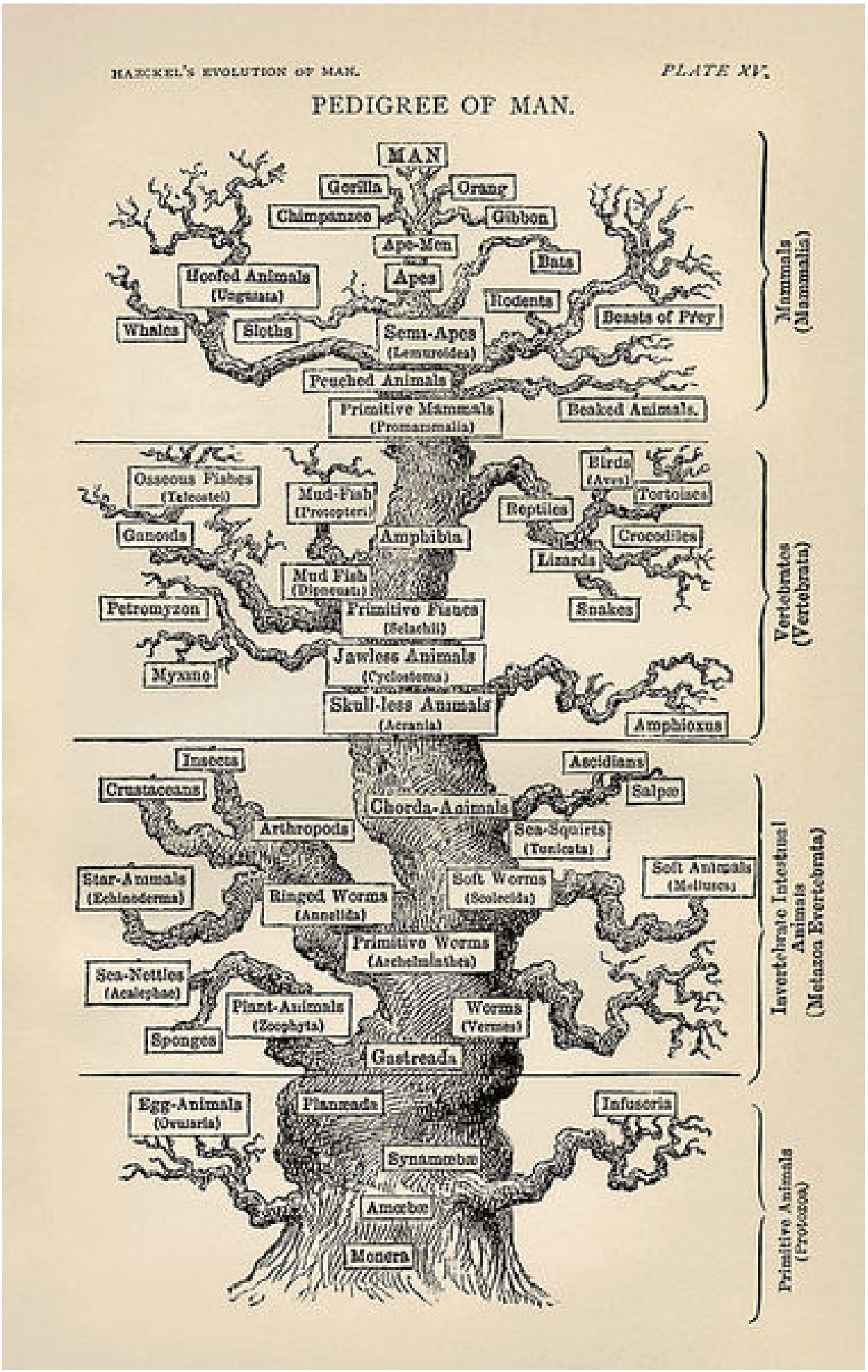
تتمثل إحدى المسائل الصعبة الأخرى في عدم إمكانية تصوير التطور دوماً على شكل شجرة يرتبط فيها كل نوع مع سلف واحد بالضبط، فمثلاً بعض أنواع النباتات تطورت عبر التهجين حيث يتم دمج المادة الوراثية لنوعين مختلفين من الأسلاف للحصول على نوع واحد من الأنسال.

أيضاً تتبادل العديد من البكتريا بما فيها الأنواع المختلفة المادة الوراثية بشكل مباشر بانتظام بعيداً عن أي تكاثر ويسمى ذلك نقل المورثات الأفقي (**horizontal gene transfer**). وتدعى هذه الحالات بالأحداث التشابكية ولا يمكن حصرها ببنية شجرة ملائمة، ويلزم بدلاً من ذلك استخدام المفهوم الأعمّ للشبكة الفيلوجينية حيث تجري على هذا الموضوع أبحاث مكثفة.

إن الهدف الأسمى من علم الفيلوجينات هو الوصول إلى "شجرة حياة" متكاملة تحوي جميع الأنواع المعروفة وجميع علاقاتها التطورية مع أسلافها، الأمر الذي سيؤدي إلى ربط جميع الأنواع الحالية والسابقة مع السلف المشترك لكل الأحياء على الأرض عبر سلالات أنسابها

الخاصة بها لكن المتقاربة بينها.

وكما كتب داروين في أحد كتبه: "ثمة بهاء في أن ننظر للحياة بقواها المتعددة على أنها بدأت في الأصل ببضعة أنواع أو بنوع واحد، وأنّ أنواعاً لا حصر لها في غاية الجمال والروعة تطورت وما تزال تتطور انطلاقاً من بداية بسيطة للغاية؛ كنظرتنا لهذا الكوكب على أنه مستمر بالدوران حسب قانون ثابت للجاذبية." يبدو أن علماء الرياضيات ينمكن أن يسهموا بشكل فعال في هذه الرؤية السامية للحياة.


HAECKEL'S EVOLUTION OF MAN.
PLATE XI.
PEDIGREE OF MAN.
MAN
Gorilla
Orang
Chimpanzee
Gibbon
Ape-Men
Apes
Bats
Hoofed Animals (Ungulata)
Rodents
Beasts of Prey
Whales
Sloths
Semi-Apes (Lemuroides)
Pouched Animals
Beaked Animals.
Primitive Mammals (Promammalia)
Mammals (Mammalia)
Osseous Fishes (Teleostei)
Mud-Fish (Proceptera)
Birds (Aves)
Tortoises
Reptiles
Ganoids
Amphibia
Crocodiles
Lizards
Mud Fish (Dipneusta)
Snakes
Petromyzon
Primitive Fishes (Selachii)
Jawless Animals (Cyclostoma)
Myxine
Skull-less Animals (Acrania)
Amphioxus
Vertebrates (Vertebrata)
Insects
Ascidians
Crustaceans
Salpa
Chorda-Animals
Arthropods
Sea-Squirts (Tunicata)
Star-Animals (Echinoderma)
Ringed Worms (Annelida)
Soft Worms (Scolecida)
Soft Animals (Mollusca)
Primitive Worms (Archelminthes)
Sea-Nettles (Acalephae)
Plant-Animals (Zoophyta)
Worms (Vermes)
Sponges
Gastreada
Invertebrate Intestinal Animals (Metazoa Evertebrata)
Egg-Animals (Ovularia)
Planuada
Infusoria
Synamoeba
Amoeba
Monera
Primitive Animals (Protozoa)

نسخة انكليزية من شجرة إيرنست هايكل Ernst Haeckel من كتاب "تطور الإنسان"

حول المؤلف

ويم هورديجك **Wim Hordijk** هو عالم حاسوب وحاصل حالياً على زمالة في معهد كونارد لورنز في كولستيرن اوبورغ بالنمسا. عمل هورديجك في العديد من مشاريع الحوسبة والأبحاث في أنحاء مختلفة من العالم، وركز معظمها على الأسئلة المرتبطة بالتطور وأصل الحياة.

ملاحظات

[1] علم الفيلوجينات: دراسة التاريخ التطوري

- التاريخ: 2016-09-15
- التصنيف: أسئلة كُبرى

#الحياة #الجاذبية #النسبية العامة #نظرية التطور #داروين

المصادر

- plus.maths

المساهمون

- ترجمة
  - سوسن شحادة
- مُراجعة
  - همام بيطار
- تصميم
  - علي كاظم
- نشر
  - مي الشاهد