

مقدمة في الكيمياء الحيوية

Introduction in the Biochemistry

CHAPTER-1

الفصل الأول

يعتقد ان الكون قد ظهر للوجود قبل أكثر من 20 مليار سنة ، مصحوباً بانفجارات زلزالية قذفت بجسيمات ذرية ثانوية ذات طاقة عالية الى الفضاء. وعندما برد الكون تدريجياً كونت هذه الجسيمات الأولية أنوية ذات شحنات موجبة جذبت إليها الالكترونات ذات الشحنات السالبة وعليه تولدت مئة أو أكثر من العناصر الكيمياوية. ولذا فان جميع الكائنات الموجودة حالياً بما فيها ذرات جميع الكائنات الحية ، قد تولدت من الانفجارات الزلزالية الكبيرة. وبهذا نكون نحن البشر وجميع الكائنات الحية قد تكونا من الغبار النجمي (Star Dust).

الكائنات الحية تتكون من جزيئات عديمة الحياة (Lifeless Molecules) فعند فصل هذه الجزيئات وفحصها على انفراد ، فإنها تعمل وفق جميع القوانين الكيمياوي ة والفيزياوية (Physical And Chemical Laws) والتي تصف سلوكية المادة عديمة الحياة (The Behavior Of Inanimate Matter). الكائنات الحية تمتلك صفات غير اعتيادية لا تظهرها مجاميع الجزيئات في حالة تجمعها، فإذا تفحصنا بعض هذه الصفات الخاصة ، أمكننا التوصل الى دراسة الكيمياء الحيوية بفهم أفضل وأدق. ولغرض مقارنة الصفات المميزة للمادة الحية عن المادة غير الحية نلاحظ هناك فروقات شاسعة فيما بينهم كما موضحاً في الجدول (1-1).

جدول(1-1) مقارنة بين المادة الحية وغير الحية

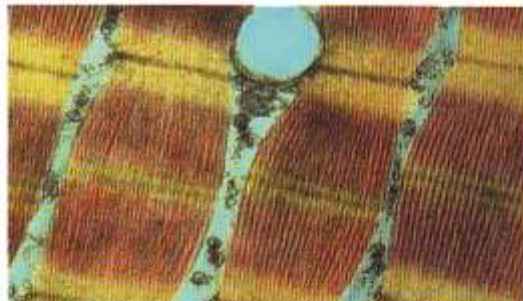
ت	المادة الحية Living Matters	ت	المادة غير الحية Lifeless Matters
١.	من الصفات البارزة للكائنات الحية هي كونها معقدة وبدرجة عالية من التنظيم . ولها تراكيب داخلية دقيقة تحتوي على أنواع عديدة من الجزيئات المركبة، وأكثر من ذلك تو جد ملايين من أنواع الكائنات الحية.	١.	تتكون من خليط عشوائي غير متجانس من مركبات كيمياوية بسيطة مثل الطين، الرمل، الصخور وماء البحر.
٢.	ان لكل جزء من الكائن الحي هدفاً أو وظيفة معينة وهذا يشمل ليس فقط بالنسبة للتراكيب الكبيرة كالقلب والرئتين والدماغ، بل للتراكيب الدقيقة الموجودة داخل الخلايا كذلك، مثل النواة وحتى المركبات الكيمياوية المنفردة مثل البروتينات والدهون، لها وظائف خاصة ومحددة.	٢.	لا تمتلك عناصر المادة الجامدة أي وظيفة أو هدفاً.
٣.	ان الكائنات الحية لها القابلية على	٣.	لا تستخدم الطاقة بطريقة مفيدة وذات

<p>هدف للحفاظ على تركيبها وللقيام بعمل معين، بل إنها عندما تترك لذاتها فإنها تميل للتفسخ والانتقال الى حالة أكثر عشوائية بمرور الزمن.</p>		<p>استخلاص الطاقة من بينتها ونقلها واستخدمها أما بشكل مواد غذائية عضوية أو طاقة مشعة من ضوء الشمس، والتي تتمكن الكائنات الحية من خلالها من بناء تراكيبها المعقدة الغنية بالطاقة والمحافظة عليها للقيام بالشغل الميكانيكي للحركة والتنقل ونقل المواد عبر الأغشية الخلوية . Cells Membrane</p>	
<p>ليس لها القابلية على النمو والتكاثر بأشكال متماثلة من حيث الكتلة والشكل والتركيب الداخلي جيلاً بعد جيل كما هو الحال في المادة الحية.</p>	<p>٤.</p>	<p>٤. ان الخاصية الاستثنائية الأكبر للكائنات الحية هي قابليتها على التكرار الدقيق لنفسها وهذه الخاصية يمكن اعتبارها جوهر الحالة الحية.</p>	

تسعى الكيمياء الحياتية لفهم الحالة الحية للكائنات التي تتكون من جزيئات عديمة الحياة ، فلماذا إذ تختلف المادة الحية جذرياً عن المواد غير الحية التي تتكون منها . ولماذا تظهر الكائنات الحية بأنها ليس مجرد مجموع أجزائها غير حية ؟ لقد أجاب الفلاسفة بان الكائنات الحية زودت بقوة حياة إلهية مقدسة غامضة. إلا ان هذا المذهب المسمى بالمذهب ال حيوي Vitalism رفضته العلوم الحديثة التي تسعى الى التفسيرات المنطقية والخاضعة للاختبار . ان الهدف الأساسي لعلم الكيمياء الحيوية هو تحديد الكيفية التي تتفاعل فيها مجاميع الجزيئات غير الحية التي تشكل الكائنات الحية بعضها مع البعض الآخر من اجل الحفاظ وإدامة الحالة الحية وتخليدها . وللتأكيد فان الكيمياء الحياتية لها تطبيقات عملية مهمة في علوم الطب والزراعة والتغذية والصناعة ولكن اهتمام الكيمياء الحياتية النهائي في معجزة الحياة والكائنات الحية. ان الجزيئات التي تتكون منها الكائنات الحية تعمل وفق جميع قوانين الكيمياء المألوفة ولكنها تتفاعل مع بعضها بشكل يتوافق مع مجموعة الأسس التي تطلق عليها مجتمعة المنطق الجزيئي للحالة الحية (The Molecular Of The Living State) وليس من الضرورة تشمل هذه الأسس قانوناً أو قوانين أو قوة فيزيائية جديدة غير مكتشفة لحد الان بل بدلاً من ذلك ، فهي عبارة عن مجموعة فريدة من العلاقات التي تميز طبيعة ووظيفة وتفاعل أنواع معينة من الجزيئات الحيوية (Biomolecules) أي بمعنى آخر أنواع الجزيئات الموجودة في الكائنات الحية.



(b)



(a)



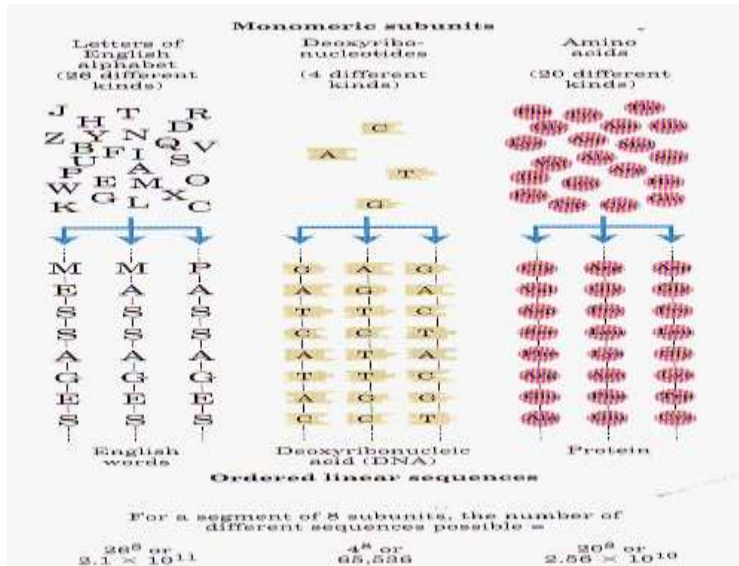
(c)

Biomolecules

الجزئيات الحيوية

ان جميع الكائنات الحية تتكون من مركبات عضوية كاربونية ، ذرات الكربون فيها تكون مرتبطة تساهمياً مع ذرات الكربون الأخرى ، وكذلك مع ذرات الهيدروجين ، والأوكسجين أو النتروجين . وتكون المركبات العضوية في المادة الحية متنوعة وبشكل استثنائي وان العديد منها عبارة عن مركبات معقدة وكبيرة جداً . فعلى سبيل المثال تحتوي خلايا البكتريا ، وهي الخلايا الأبسط والأصغر حجماً ، على عدد كبير من الجزئيات العضوية المختلفة . إذ تحتوي الخلية الواحدة من بكتريا القولون (*Escherichia Coli*) على 5000 نوع مختلف من المركبات العضوية ، وتشمل حوالي 3000 نوع مختلف من البروتينات وحوالي 1000 نوع مختلف من الأحماض النووية وأكثر من ذلك ، فان البروتينات والأحماض النووية هي عبارة عن جزئيات كبيرة جداً ومعقدة تدعى بالجزئيات الحيوية العملاقة **Macromolecules** ، ولم يعرف التركيب البنائي الدقيق إلا لعدد قليل منها. ففي الإنسان الذي هو من أكثر الكائنات الحية تعقيداً يوجد هناك أكثر من 50.000 نوع من البروتينات المختلفة. ومن غير المحتمل ، ان يكون أي من جزئيات البروتينات الموجودة في بكتريا القولون (*E. coli*) متماثلة مع أي من البروتينات الموجودة عند الإنسان على الرغم من ان الكثير منها يعمل بطرق متشابهة تماماً. والحقيقة ، ان لكل نوع من أنواع الكائنات الحية مجموعته الخاصة من جزئيات البروتينات والأحماض النووية. وتكون جميعها تقريباً مختلفة عن جزئيات الأنواع الأخرى من الكائنات الحية. وبما ان هناك 10 ملايين من أنواع الكائنات الحية ، فيمكننا ان نرى كل الأنواع مجتمعة يجب ان تحتوي على الأقل 10^{11} نوع مختلف من أنواع جزئيات البروتينات ونفس العدد تقريباً من الأنواع المختلفة من الأحماض النووية.

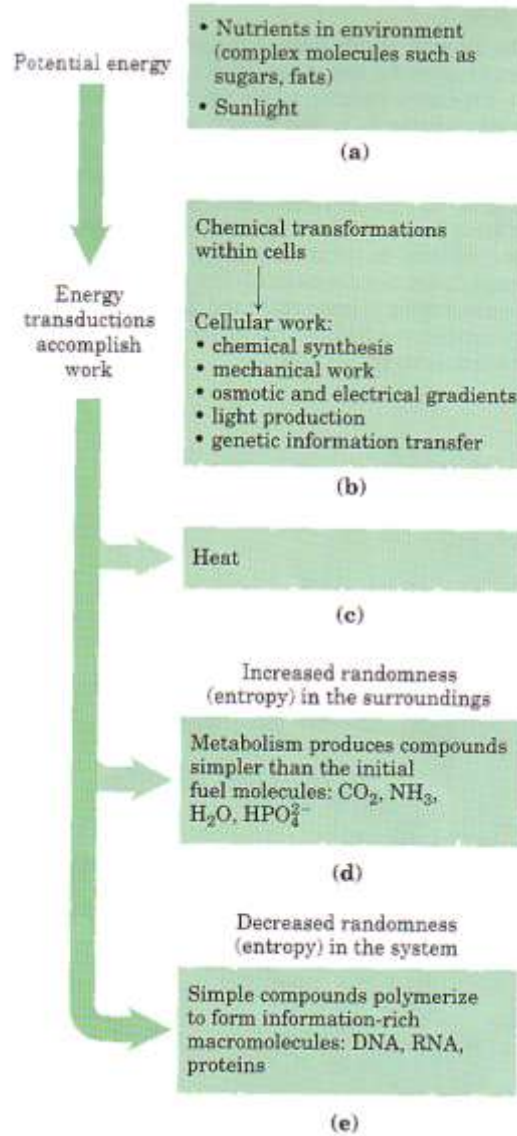
ويبدو للمختصين بالكيمياء الحيوية الذين يحاولون عزل وتشخيص وتخليق جميع الجزئيات العضوية المختلفة الموجودة في الكائنات الحية ولكنهم لن ينجحوا بمثل هذا المشروع ، ولكن من الممكن اختزال الاختلافات الموجودة بين الجزئيات العضوية في الكائنات الحية الى ابسط قدر. وذلك لان جميع الجزئيات الحيوية العملاقة للخلايا تتكون من جزئيات بسيطة وصغيرة لأنواع مختلفة تترتب معا لتكوين سلسلة طويلة أو سلاسل طويلة تتألف من حوالي 50 وحدة الى حوالي عدة آلاف من الوحدات فمثلاً ، تتكون السلسلة الطويلة من جزئيات (DNA) من أربعة أنواع مختلفة من الوحدات البنائية وهي مركبات الحامض النووي اللاوكسجيني، مرتبة بتسلسل خاص ومميز كما موضح في الشكل (1-2). وتتألف البروتينات من سلاسل مكونة من 20 نوعاً مختلفاً من الأحماض الأمينية المرتبطة تساهمياً ، وتعد هذه الأحماض الأمينية مركبات عضوية ذات تراكيب معلومة. ويمكن ترتيب الأحماض الأمينية العشرين ترتيبات متنوعة لتكوين أنواع مختلفة من البروتينات ، مثلما يمكن ترتيب الحروف الهجائية الـ 26 فان الأنواع المحدودة من مركبات النيوكليوتيدات التي تتكون منها الأحماض النووية وأنواع الأحماض الأمينية العشرين التي يتم تركيب جميع البروتينات منها تكون متماثلة في كل أنواع الكائنات الحية ، مهما كانت تلك الأنواع نباتية أو حيوانية أو كائنات مجهرية . وتوحي هذه الحقيقة بقوة بان جميع الكائنات الحية قد تنحدر من أصل مشترك.



ان لجزيئات الوحدات البنائية البسيطة التي يتم منها بناء جميع الجزيئات الحيوية العملاقة ، صفة مميزة أخرى ، وهي ان كل واحد منها يستخدم في الخلايا في أكثر من وظيفة . ولا تستخدم الأحماض الأمينية المختلفة كوحدات لبناء جزيئات البروتينات فحسب ، ولكنها تستخدم كذلك كمواد أولية لتكوين الهرمونات والمواد القلوية (Alkaloides) والمواد الصبغية (الأصباغ) وأكثر من الأنواع الأخرى من الجزيئات الحيوية. ولا تستخدم النيوكليوتيدات كوحدات بنائية لتركيب الأحماض النووية فقط بل تستخدم كذلك كإنزيمات مساعدة (Coenzyme) وكجزيئات حاملة للطاقة.

مما تقدم يمكننا الآن ان نضع بعض الحقائق أو الأساسيات للمنطق الجزيئي للحالة الحية.

١. ان الجزيئات الحيوية الكبيرة (Macromolecules) تتصف ببساطة التركيب.
٢. تستخدم جميع الكائنات الحية نفس الأنواع من جزيئات الوحدات البنائية ولذلك يتضح أنها تنحدر من أصل واحد مشترك.
٣. تتم المحافظة على الصفات الخاصة بكل نوع من أنواع الكائنات الحية وبكل فرد من أفرادها بأضواء الأفراد أو الأنواع على مجاميع متميزة وخاصة بها من الأحماض النووية والبروتينات.
٤. لجميع الجزيئات الحيوية وظائف خاصة ومحددة في الخلايا.



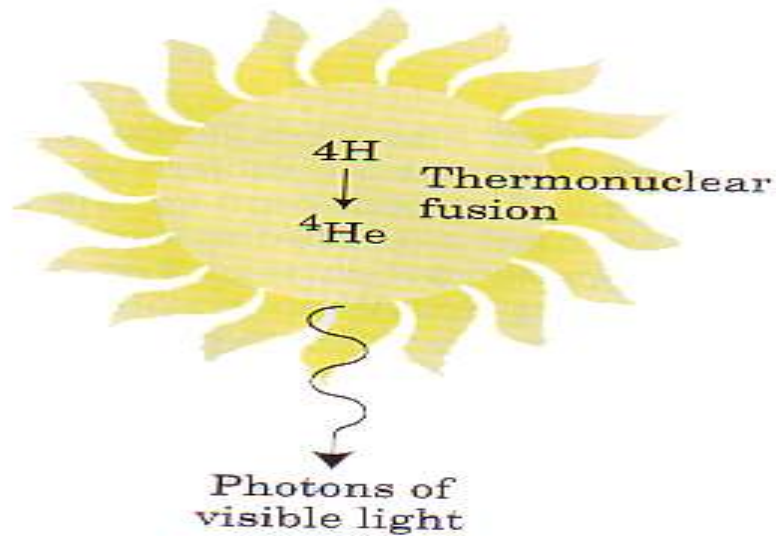
تبادل الطاقة والمادة بين الكائنات الحية ومحيطها

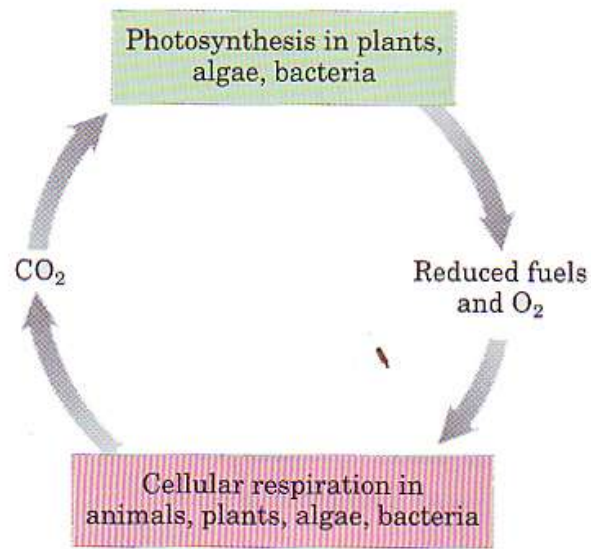
Living Organisms Exchange Energy And Matter

لا تشذ الكائنات الحية عن القوانين الفيزيائية ، التي تسيطر على تحولات الطاقة. إذ ان نموها والحفاظ على بقائها يتطلب طاقة ، يجب دفعها بطريق ما. إذ تقوم الكائنات الحية بامتصاص أشكال الطاقة المفيدة لها تحت ظروف معينة من درجات الحرارة والضغط، من بيئتها التي تعيش فيها. ثم تعيد الى البيئة بعد ذلك كمية مساوية من الطاقة بأشكال أخرى اقل فائدة . ان النوع المعقد من الطاقة الذي تحتاجه الخلايا هو ما يسمى بالطاقة الحرة (Free Energy) ، التي يمكن تعريفها بصورة مبسطة بأنها ذلك النوع من الطاقة الذي يمكن ان ينجز شغلاً تحت درجة حرارة وضغط ثابتين. أما الطاقة الأقل فائدة فهي ما تعيده الخلايا الى بيئتها ويتكون بدرجة كبيرة من الحرارة ، التي تنتجت فيما يحيط بها وتصبح عشوائية. وتشكل هذه حقيقة أخرى من حقائق المنطق الجزيئي للحالة الحية ، وهي كما يلي:

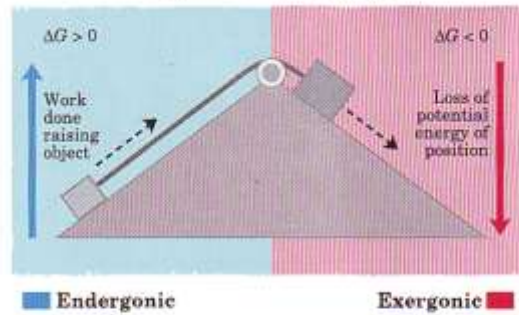
" ان الكائنات الحية تقوم بتخليق تركيباتها المعقدة والمفيدة والمرتبة وتحافظ على هذه التركيبات ، وذلك على حساب الطاقة الحرة التي تحصل عليها من بيئتها وتعيد الى هذه البيئة الطاقة بأشكال اقل فائدة ".
ومع ان الكائنات الحية هي عبارة عن أنظمة تحويل طاقة ، فهي تختلف تماماً عن المكانن التي يصنعها الإنسان. ان أجهزة تحويل الطاقة في الكائنات الحية ، يتم باؤها تماماً من جزيئات عضوية هشة نسبياً وغير ثابتة، تمكنها من مقاومة درجات الحرارة العالية والتيارات الكهربائية القوية أو الظروف الحامضية والقاعدية الشديدة ، " ولجميع أجزاء الخلية الحية نفس درجات الحرارة ".

وأكثر من هذا فليست هناك اختلافات مهمة في الضغط بين أجزاء الخلية ولهذا يمكننا ان نستنتج انه لا يمكن للخلايا استخدام الحرارة كمصدر طاقة ، لان الحرارة يمكن ان تؤدي شغلاً فقط عند مرورها من جسم لآخر ذي درجة حرارة أوطأ. كما ان الخلايا الحية لا تشبه المكانن البخارية أو المحركات الكهربائية ، وهي أكثر أنواع المحركات المعروفة عندنا. بل بدلاً من ذلك ، وهذه حقيقة مهمة أخرى من حقائق المنطق الجزيئي للحالة الحية: " فان الخلايا الحية هي عبارة عن محركات كيميائية تعمل تحت درجة حرارة ثابتة ".

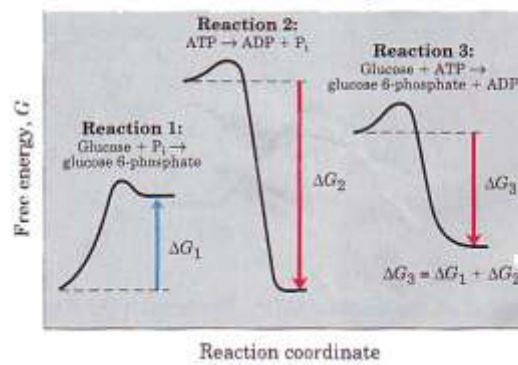




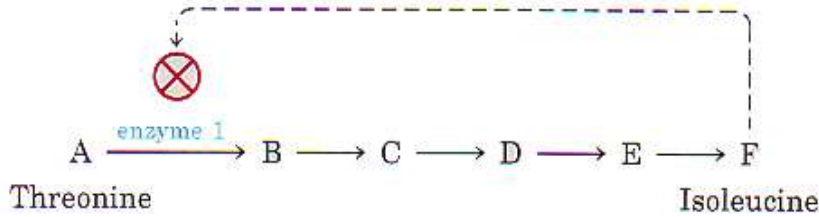
(a) Mechanical example



(b) Chemical example



وتستخدم الخلايا الطاقة الكيميائية للقيام بالشغل الكيميائي لترميم الأجزاء المعطوبة من الخلية ولغرض النمو كذلك ، والعمل التناضحي (الازموزي) المطلوب لنقل المواد الغذائية الى داخل الخلايا ، وكذلك للعمل الميكانيكي اللازم للتقلص والحركة. وبالأساس فإن جميع الكائنات الحية الموجودة على سطح الأرض تحصل على طاقتها من ضوء الشمس ، الناتج عن الانشطار النووي لذرات الهيدروجين لتكوين الهليوم في درجات الحرارة العالية جداً للشمس.



وتقوم الخلايا التي تجري فيها عمليات التركيب الضوئي باقتناص الطاقة الإشعاعية لضوء الشمس واستخدامها لتتحول ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والماء الى منتوجات نباتية مختلفة غنية بالطاقة ، كالنشأ والسليلوز. وبقيامها بهذا فهي تقوم بإطلاق الأوكسجين الحرفي في الفضاء . وأساساً تحصل الكائنات الحية التي لا تستطيع القيام بعملية التركيب الضوئي على ما تحتاجه من الطاقة من المنتوجات النباتية الغنية بالطاقة ، وذلك بأكسدة المنتوجات النباتية بوجود أوكسجين الهواء الجوي لتكوين (CO_2) وغيره من المنتوجات النهائية الأخرى التي تعود الى البيئة وتعاد دورتها من جديد بواسطة النباتات . ولذلك تتضح لنا حقيقة أخرى للحالة الحية وهي:

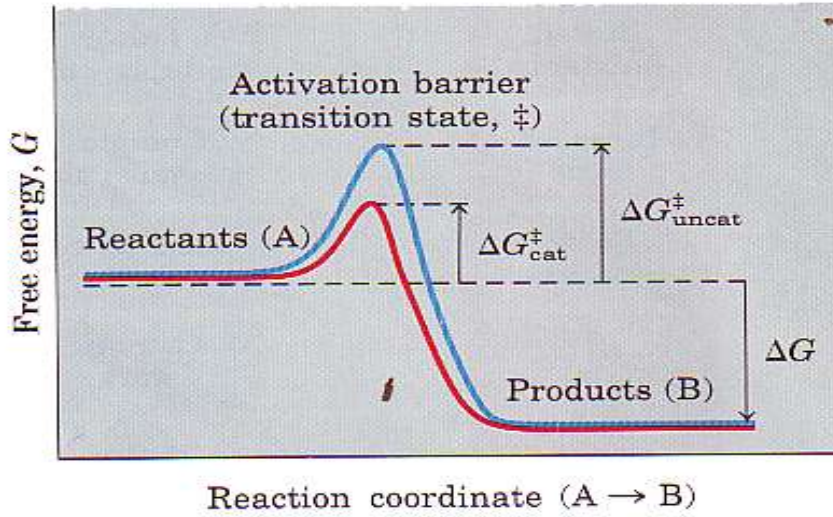
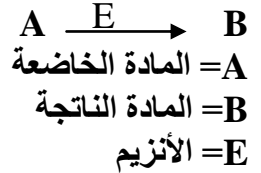
" ان احتياجات جميع الكائنات الحية من الطاقة يتم توفيرها بصورة مباشرة أو بصورة غير مباشرة عن طريق الطاقة الشمسية. وان النباتات والحيوانات بل جميع الكائنات الحية تعتمد بعضها على بعضها الآخر من خلال تحولات الطاقة والمادة خلال البيئة".

Enzymes

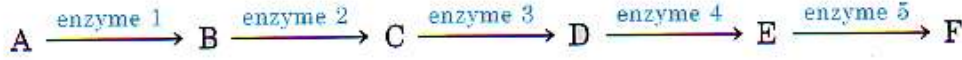
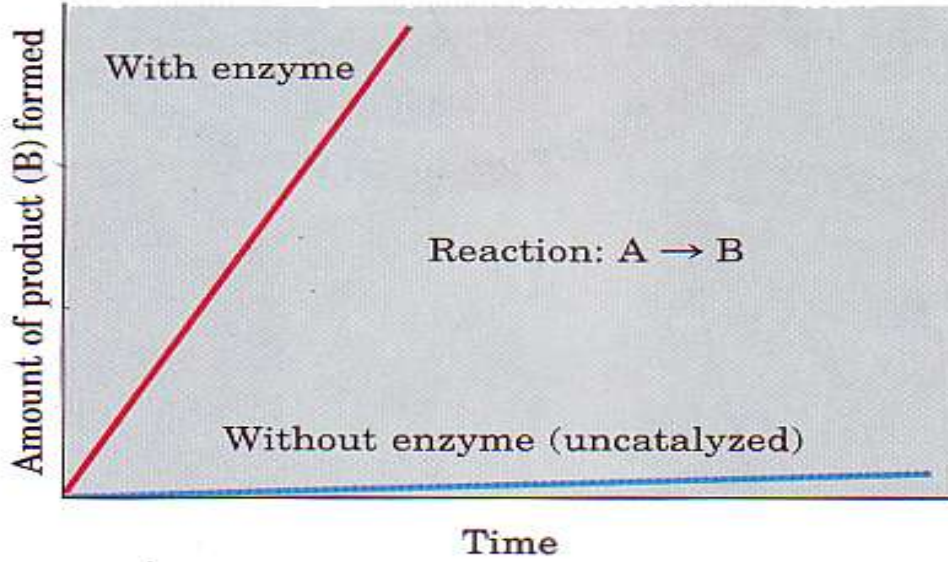
الأنزيمات

تستطيع الخلايا ان تعمل كمحركات كيميائية لأنها تمتلك أنزيمات (Enzymes) لها القدرة الكبيرة على زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية التي تحفزها بدون ان يتم استهلاكها أثناء ذلك . والأنزيمات هي بروتينات متخصصة بدرجة عالية تكونها الخلايا من وحداتها البنائية البسيطة من الأحماض الأمينية. ويقوم كل نوع من الأنزيمات بتحفيز نوع واحد فقط من التفاعلات الكيميائية ولهذا تنشأ الحاجة الى مئات من الأنزيمات المختلفة في العمليات الحيوية لكل نوع من أنواع الخلايا. وتكون الأنزيمات اكفيء بكثير من العوامل المساعدة التي يستعملها الكيميائيون ، لأنها أكثر تخصصاً منها وذات كفاءة أكبر كعوامل مساعدة ، ويمكنها ان تعمل تحت ظروف اوطيء من حيث درجات الحرارة وتركيز ايون الهيدروجين.

الأنزيمات تستطيع ان تقوم بتحفيز سلاسل مركبة من التفاعلات التي تستغرق أ ياماً وأسابيع وحتى أشهر من العمل في المختبر الكيمياوي في خلال فترة ثوان من الزمن . وأكثر من ذلك فان التفاعلات التي تحفزها الأنزيمات تؤدي الى تكوين منتج يبلغ ١٠٠% أي بدون تكوين منتجات ثانوية، وعلى النقيض من ذلك ما يقوم به الكيمياويين من تفاعلات في المختبر، حيث يصاحبها دائماً على درجة التقريب تكوين منتج أو أكثر من المنتجات الثانوية. ولان الأنزيمات يمكنها ان تعجل من مسار تفاعل جزئي معين، بدون ان تعجل تفاعلاته الممكنة الأخرى، فيمكن للخلايا الحية ان تقوم بتفاعلات كيمياوية مخلفة كثيرة في الوقت نفسه دون الوقوع في متاهة أو تكوين منتجات ثانوية عديمة الفائدة.



تننظم مئات التفاعلات الكيمياوية التي تحفزها سلاسل كثيرة مختلفة من التفاعلات المتضامنة. ويكون لتلك السلاسل من التفاعلات من ٢ الى ٢٠ خطوة أو أكثر. وتقوم بعض هذه السلاسل من التفاعلات التي تحفزها الأنزيمات بتكسير المواد الغذائية العضوية الى منتجات نهائية بسيطة التركيب ، لأجل استخلاص الطاقة الكهربائية. وتبدأ السلاسل الأخرى من جزيئات بسيطة من المواد الأولية وتقوم ببناء جزيئات حيوية كبيرة معقدة بطريقة الخطوة- خطوة ، حيث يجب توفير الطاقة لها . وترتبط هذه المسارات التي تحفزها الأنزيمات ، فتشكل مجتمعة العمليات الحيوية الخلوية والتي تترابط بعضها ببعض بنقاط عدة.

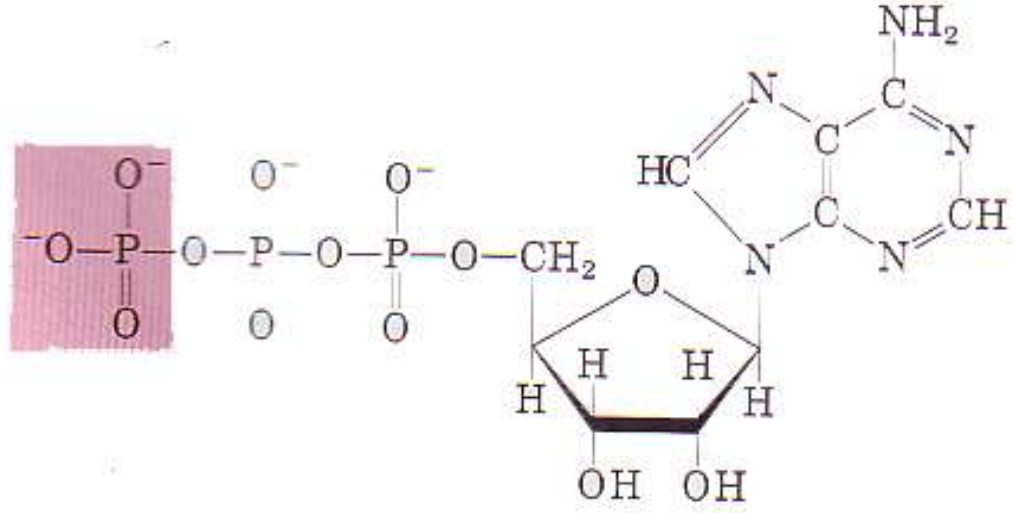


Cells Transmit In A Chemical Form

الخلايا تنقل الطاقة بشكل كيميائي

تقوم الخلايا الحية باقتناص الطاقة لتخزينها وتنقلها بشكل كيميائي بدرجة كبيرة على شكل ثالث فوسفات الادينوسين (ATP) (Adenosine Triphosphate) ويعمل الـ (ATP) كحامل رئيسي للطاقة الكيميائية في خلايا جميع الكائنات الحية. ويمكن للـ (ATP) ان ينقل طاقته الى جزيئات حيوية معينة، وبقيامه بذلك، تنفصل مجموعته الفوسفاتية الطرفية، ولهذا يصبح جزيء الـ (ATP) الغني بالطاقة أصلاً على شكل مركب مضمحل للطاقة وهو ثاني فوسفات الادينوسين (ADP) (Adenosine Diphosphate) والذي يستطيع ان يحصل على مجموعة فوسفاتية أخرى ليكون (ATP) مرة أخرى على حساب الطاقة الشمسية في الخلايا التي تقوم بعملية البناء الضوئي أو الطاقة الكيميائية في الخلايا الحيوانية. يتميز جزيء الـ (ATP) بكونه حلقة الوصل الرئيسية بين الشبكات الكبيرة من التفاعلات التي تحفزها الأنزيمات في الخلية. وتقوم إحدى هذه الشبكات بحفظ الطاقة الكيميائية المشتقة من البيئة، الى درجة كبيرة بواسطة فسفرة المركب الذي يحمل طاقة واطئة وهو جزيء الـ (ADP) الى مركب غني بالطاقة وهو (ATP).

ان الشبكة الأخرى التي تستهلك طاقة الـ (ATP) هي عملية التركيب البنائي (Biosynthesis) لمكونات الخلية من مواد أولية بسيطة، لأجل القيام بشغل كيميائي تحتاجه الخلية لعمليات النقل والحركة وللقيام بالشغل التنافذي للنقل الغشائي (Membrane Transport) وتكون هذه الشبكات المترابطة من التفاعلات التي تحفزها الأنزيمات كما هو الحال في الجزيئات الحيوية البنائية. متشابهة في معظم أنواع الكائنات الحية.



Cell Metabolism

أيض الخلية (العمليات الحيوية)

تستطيع الخلايا النامية بناء آلاف الأنواع المختلفة من جزيئات البروتينات وكذلك الأحماض النووية في ان واحد وبنسب متغيرة لتكون البروتوبلازم الحي والفعال والمميز لكل نوع من الكائنات الحية . ولهذا فان تفاعلات العمليات الحيوية التي تحفزها الأنزيمات يتم تنظيمها بدقة وبطريقة معقدة لغرض تكوين العدد المطلوب من كل نوع من جزيئات الوحدات البنائية فقط وترتيب هذه الوحدات لتكوين عدد معين من الجزيئات الخاصة بكل نوع من أنواع الأحماض النووية أو البروتينات أو الدهون أو السكريات المتعددة . وأكثر من هذا ، فان للكائنات الحية القدرة على تنظيم تركيب عواملها المساعدة الخاصة بها وهي الأنزيمات ، ولهذا يمكن للخلايا ان توقف تركيب أنزيم معين مطلوب لتكوين منتج معين من مواده الأولية كلما كان ذلك المنتج متوفراً، وجاهزاً من البيئة. ان مثل هذه الخواص لتنظيم الذات تسمح للخلايا الحية بان تبقى نفسها في حالة مستقرة ، حتى عندما تتغير أو تتذبذب البيئة الخارجية . وعليه يمكننا ان نعرف حقيقة أخرى من حقائق المنطق الجزيئي للحالة الحية وهي:

" ان الخلايا الحية هي عبارة عن محركات ذاتية التنظيم ويتم ضبطها للعمل لطريقة اقتصادية عالية ."

تضاعف الكائنات الحية أنفسها بصورة دقيقة

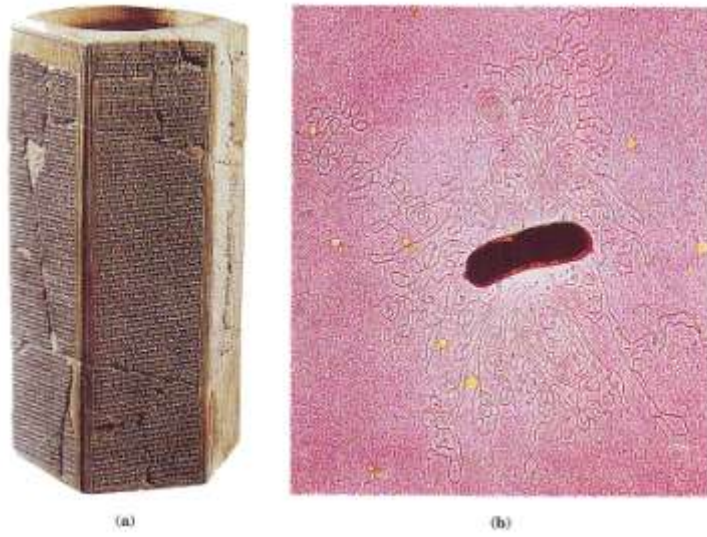
Living Organisms Replicate Themselves Accurately

ان أكثر الصفات المميزة للكائنات الحية هي قدرتها على التكاثر بدقة متناهية على مدى مئات بل آلاف الأجيال. وهناك ثلاثة معالم جوهرية تبرز للعيان بسرعة وهي:

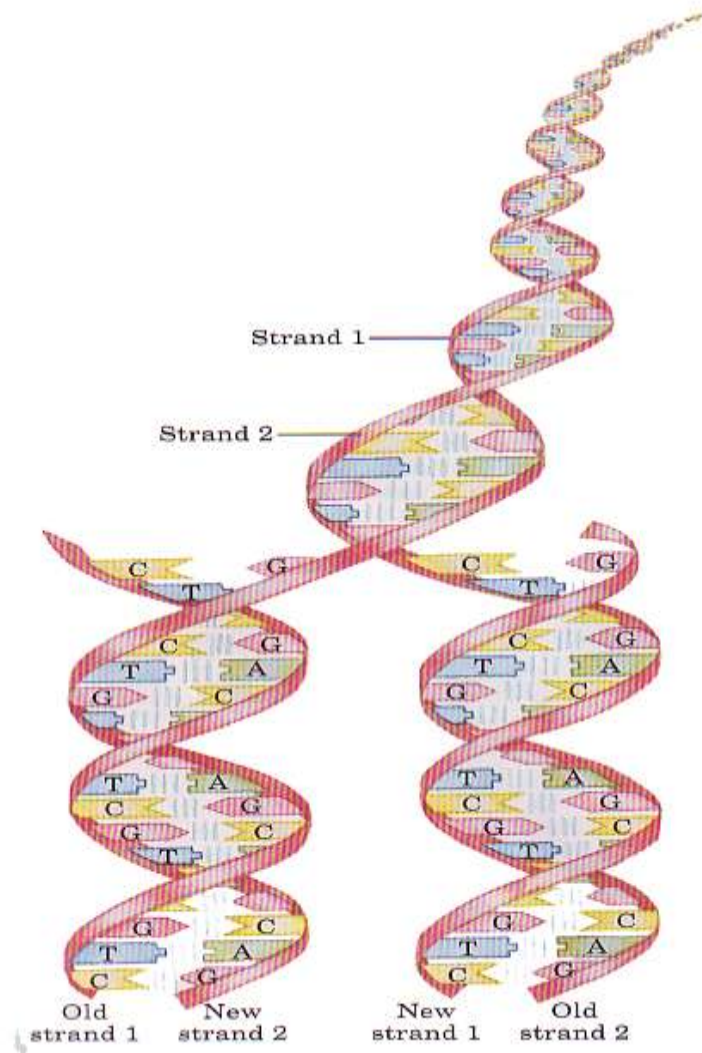
أولاً: ان الكائنات الحية معقدة بدرجة كبيرة بحيث تبدو كمية المعلومات الوراثية المنقولة أو المرسله لا تتناسب أبداً مع حجم نواة الخلية الدقيق ، التي هي مكان لخرن المعلومات الوراثية. نحن نعرف الآن ان جميع المعلومات الوراثية لخلية البكتريا تقع في جزيء واحد كبير هو الحامض النووي اللاوكسجيني (DNA) (Deoxyribonucleic Acid) كما ان الجزء الأكبر من المعلومات الوراثية الهائلة الموجودة في خلية جرثومية بشرية واحدة ، تحول على شكل رسالة في مجموعة من جزيئات الـ (DNA) وتزن هذه الجزيئات جميعاً حوالي 6×10^{-12} غرام ولهذا نتوصل الى حقيقة أخرى في المنطق الجزيئي للحياة وهي:

" تحول المعلومات الوراثية على شكل رسالة في وحدات جزئية ثانوية (تحت جزيئية) في أبعادها ، وهذه الوحدات هي الأنواع الأربعة من النيوكليوتيدات التي يتكون منها جزيء الـ (DNA) ."

ثانياً: الصفة المميزة الأخرى لخاصية التضاعف الذاتي للكائنات الحية هي الثبات الاستثنائي للمعلومات الوراثية المخزونة في جزيء الـ (DNA) حيث ان العدد القليل من الأساطير التاريخية القديمة المدونة والتي كتب لها البقاء خلال هذه الفترة الزمنية الطويلة ، إنما تمت كتابتها وذلك بحفرها على قطع من النحاس أو حفرت على الصخور. بالواح البحر الميت (Dead Sea Scrolls) وحجر رشيد (Rosetta Stone) الذي أعطى مفتاحاً لكل الرموز المصرية الهيروغليفية القديمة ، لم يبلغ عمرها إلا عدة آلاف من السنين . في حين يعتقد بان الأنواع الكثيرة من البكتريا لها نفس الحجم والشكل والتركيب الداخلي تقريباً وتحتوي على الأنواع نفسها من جزيئات الوحدات البنائية وأنواع الأنزيمات نفسها التي كانت تمتلكها البكتريا القديمة التي عاشت منذ بلايين السنين.



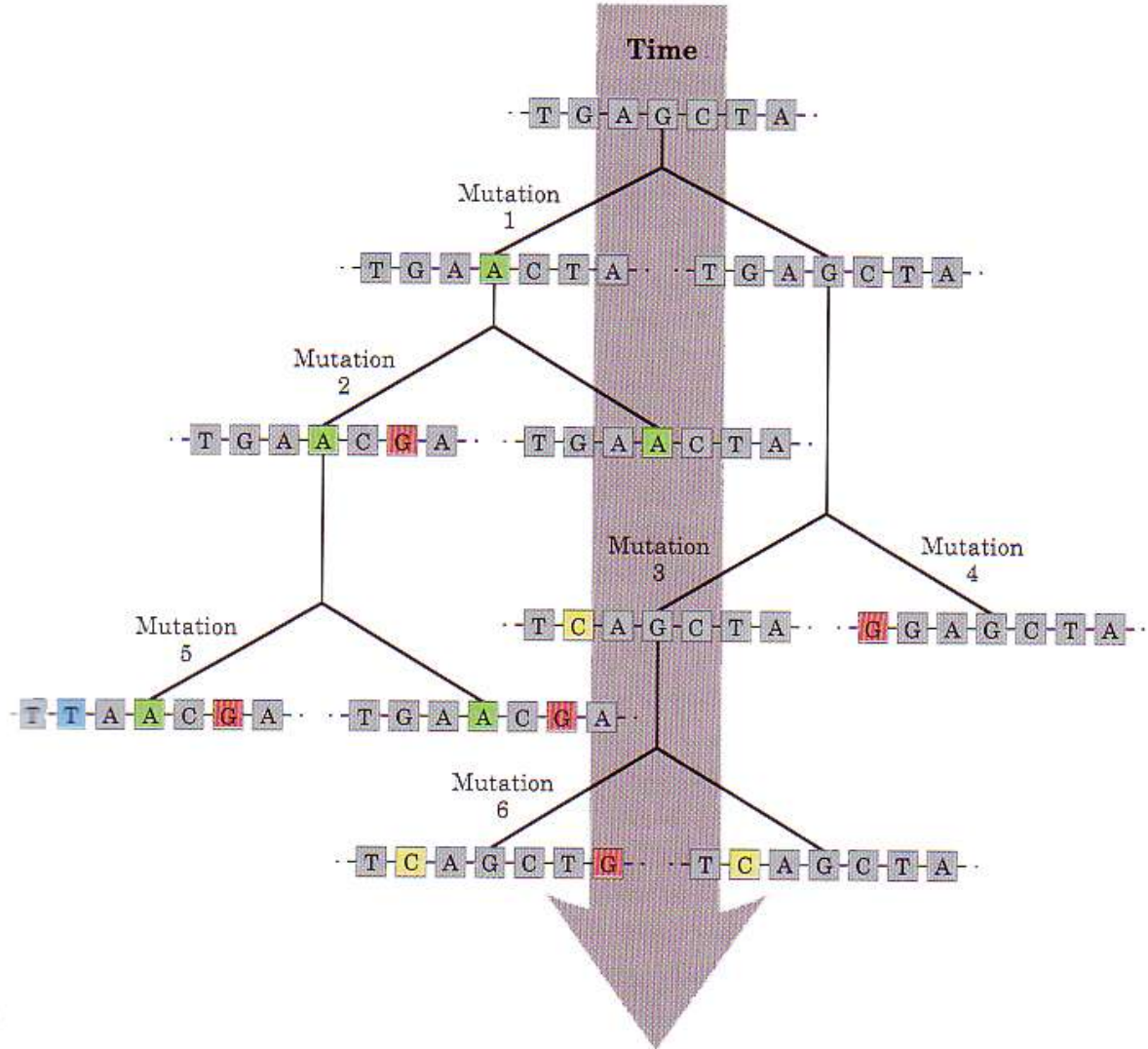
وهذا شيء نسبي على الرغم من ان البكتريا كغيرها من الكائنات الحية قد جرت لها تغيرات تطورية ثانية . وقد تم حفظ هذه المعلومات الوراثية لا على النحاس أو الحجر، بل تم حفظها على شكل (DNA) ، وهو جزيء عضوي هش جداً يمكن تكسيره الى قطع عديدة إذ تم تحريك المحلول الذي يحتوي على (DNA) فقط أو إذا ما سحب محلول (DNA) بواسطة أنبوب ونقل الى وعاء آخر (Pipetted) وحتى في الخلايا السليمة بان سلاسل الـ (DNA) قد تنكسر ، ولكن يتم ترميمها تلقائياً وبصورة سريعة. ان القابلية المتميزة للكائنات الحية بالمحافظة على موادها الوراثية هي نتيجة لخاصية التماثل التركيبي (Structural Complementarity) حيث تستخدم احد خيوط (DNA) كقالب لغرض التكرار الأنزيمي أو ترميم الأجزاء المعطوبة من خيط الـ (DNA) المتماثل تركيبياً ومع ذلك فعلى الرغم من الدقة المضبوطة تقريباً، للتكرار الوراثي ، فان جزيئات الـ (DNA) تعاني تغير بسيط يدعى بالطفرة الوراثية (Mutation) التي ينتج منها في بعض الأحيان ذرية (أفراد) أفضل أو أكثر ملائمة للبيئة وينتج عنها في أحيان أخرى ذرية اقل قابلية على البقاء. وبهذه الطريقة تستطيع الكائنات الحية تحسين قابليتها على البقاء باستمرار ، وعليه تسمح بحدوث الاختلافات والتطور الأكثر للأصناف الجديدة كلما تغيرت البيئة بمرور الزمن.



ثالثاً: الخاصية الأخيرة التي تخص انتقال المعلومات الوراثية في الكائنات الحية . حيث تتم ترجمة المعلومات الوراثية بشكل رسالة وراثية على هيئة سلسلة مستقيمة أحادية الأبعاد من الوحدات البنائية النيوكليوتيدات للـ (DNA) وتكون الخلايا الحية ذات ثلاثة أبعاد من الناحية التركيبية. ولهذه الخلايا أجزاء أو مكونات ذات أبعاد ثلاثة. وتتحول معلومات (DNA) أحادي الأبعاد الى معلومات ثلاثية الأبعاد تتوارثها الكائنات الحية عن طريق ترجمة تركيب الـ (DNA) على شكل بروتين معين ويشترك في هذه العملية لحمض النووي الاوكسجيني (RNA) (Ribonucleic Acid) ويعكس جزيئات الـ (DNA) التي يكون لها أساساً شكل متشابهة ، فان جزيئات البروتين المختلفة تلتف عضوياً وتلتوي على شكل تراكيب متنوعة عدة خاصة ذات أبعاد ثلاثة ، وتكون كل واحدة منها ضرورية للقيام بوظيفة معينة. ان الشكل الهندسي المضبوط لكل نوع من البروتينات إنما يتم تحديده بواسطة تسلسل مكوناته من الأحماض الأمينية ، ويتم تحديد تسلسل الأحماض الأمينية عن طريق تسلسل نيوكليوتيدات الـ (DNA) . ويمكننا الآن ان نلخص الحقائق المختلفة للمنطق الجزيئي للخلايا بما يلي:

١. ان الخلايا الحية عبارة عن نظام يتكون من جزيئات عضوية متساوية الحرارة (Isothermal) ذاتية التجميع (الترتيب) وذاتية التكيف وذاتية التنظيم ويمكنها استخلاص الطاقة الحرة والمواد الخام من محيطها (بينتها).
٢. ويقوم هذا النظام (الخلايا) بتفاعلات عضوية متعاقبة عدة ويتم تعجيلها بواسطة عوامل مساعدة (حفازة) عضوية تنتج من قبل الخلية نفسها.
٣. وتبقى هذه الخلايا على أنفسها بحالة ديناميكية ثابتة ، بعيدة من التوازن مع ما يحيط بها وتعمل الخلية الحية وفق مبدأ الاقتصاد الأمثل للأجزاء والعمليات.

٤. ويتم ضمان تضاعفها الذاتي المضبوط خلال الأجيال العديدة من خلال نظام لنقل الرسائل الوراثية ذاتي ترميمي (تصليح الأجزاء التالفة) مستقيم.



تهدف الكيمياء الحيوية الى فهم الكيفية التي تستطيع بواسطتها التفاعلات التي تجري الجزيئات الحيوية تكوين الصفات المميزة للحالة الحية ، إننا لم نجد في أي مرحلة من مراحل شرحنا للمنطق الجزيئي للخلايا الحية أي خرق للقوانين الجديدة ، بالآلية العضوية الرخوة للخلايا الحية تعمل ضمن مجموعة القوانين ذاتها التي تتحكم بعمل الآلية التي يصنعها الإنسان ، لكن التفاعلات الكيميائية وا لعمليات التنظيمية للخلايا تم ضبطها بدقة تفوق ما هو متاح من قابليات للمهندس الكيمياوي.

ويبدو ان هذه المجموعة من الأسس ، التي تلخص المنطق الجزيئي للحالة الحية ، قابلة للتطبيق على جميع الخلايا ومع هذا فقد نفهم هذه الجمل بأنها عملية إفراط في التبسيط بدلاً من ان تكون ميكانيكية . فهل يمكن ان ينطبق هذا المنطق الجزيئي للحالة الحية على أشياء أكثر تعقيداً أو على الأحياء متعددة الخلايا وبخاصة الأشكال الراقية في الحياة ؟ وهل يمكن تطبيقها على الرجال والنساء ككائنات ذات قابلية استثنائية وفريدة على التفكير والكلام والقابلية الإبداعية ؟.

لا نستطيع الآن البدء بالإجابة على هذه الأسئلة ، على الرغم من إننا نعرف اليوم بان تطور وسلوك الكائنات الراقية يعتمد على العوامل الجزيئية ويتم تحويره بواسطتها ، ولهذا فقد تكون ذات أسس كيميائية حياتية، بل يجب علينا ان ننظر فترة من الزمن قبل الإجابة على هذه الأسئلة الكبرى ، لان علم الكيمياء الحيوية لا يعرف الآن سوى جزءاً يسيراً جداً فقط مما يجب معرفته عن الكائنات الحية.

في هذا السلم العام وجدنا بان الكيمياء الحيوية نظاماً ضمناً هو عبارة عن مجموعة من المبادئ التنظيمية التي ليست مجرد مجموعة من الحقائق الكيمياوية غير المترابطة عن المادة الحية ، بما إننا سنبدأ بدراسة الكيمياء الحيوية سيستخدم هذه المبادئ التنظيمية كإطار مرجعي.