الفصل الخامس

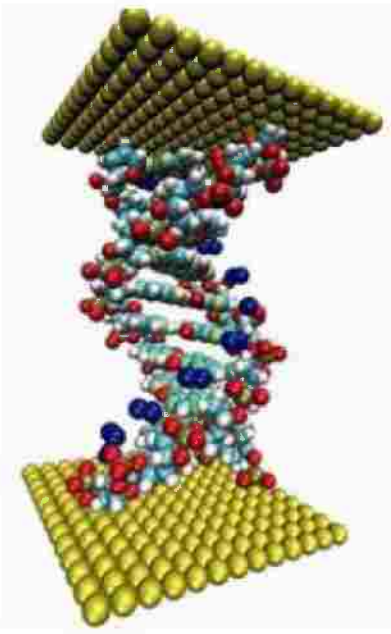
التقنية الحيوية النانوية
Nanobiotechnology

(٥,١) التكامل بين التقنية الحيوية وتقنية النانو
Biotechnology and Nanotechnology Integration

رغم تعدد أشكال العلوم التطبيقية في كافة المجالات الحياتية، إلا أن التقنية الحيوية Biotechnology تعد مطلباً جوهرياً وأساسياً في فك رموز وغموض الكثير من الحقائق العلمية المعقدة، وكذلك إسدال الستار على أفكار ونظريات علمية قديمة في كافة مجالات العلوم التطبيقية. وكحقيقة علمية ثابتة في العلم المعاصر نجد أن إزالة الحواجز بين كافة العلوم التطبيقية والتي تمثل في تقنية النانو يعد أيضاً مطلباً أساسياً وملحاً. لذلك فالتكامل الحادث الآن بين تقنية النانو والتقنية الحيوية Bionanotechnology تمثل صرحاً علمياً لا مثيل له، يربط الخيال على أرض الواقع، ويجسد الشيء غير الحقيقي أو ما كان يطلق عليه درباً من الخيال العلمي Scientific Fiction في عيون العلماء.

وهذا الاصطلاح العلمي واسع المدى وغامض بعض الشيء، وهو مصطلح يستخدم أحيانا بالتبادل مع التقنية النانوية الحيوية Bionanotechnology، التي عادة ما يشير بشكل أكثر تحديدا لاستخدام تقنية المعدات متناهية الصغر في الأجهزة لتطبيقات التقنية الحيوية. قد تشير أيضا إلى استخدام تطبيقات الجزيئات الحيوية للتقنية النانوية،

ومن الأمثلة على ذلك التقنية النانوية للحمض النووي منقوص الأكسجين DNA، الذي يستخدم التجميع الذاتي لهياكل الحمض النووي لمراقبة إحدى المسائل في النانومترية الحجم كما سيأتي سرده فيما بعد (الشكل رقم ٣٥).



الشكل رقم (٣٥). هندسة DNA بين ذرات وجزئيات معادن نانوية.

المصدر : http://www.bionanotechnology.com

ومما هو مثير للدهشة أن آفاق التقنية الحيوية Biotechnology لا تزال في بداية الطريق، ومازال الكثير من الغموض يحيطها، ومازالت الاكتشافات تتوالى، الأمر الذي يبشر بمستقبل واعد لتوأمة التقنية الحيوية النانوية Bionanotechnology والذى ستشمل في المستقبل القريب المزيد من الأبحاث العلمية المتداخلة، والمتكاملة بل المذهلة

في كل المجالات والهادفة إلى غرس التحسينات Improvemants التطبيقية الحياتية. ولذلك فأن الامتزاج الكائن بين هاتان التقنيتان Bionanotechnology ومحاولات الاستفادة من هذا التزاوج الغير معلن والانسجام العلمي على فكرة ونهج إعادة تشكيل وبناء الجزيئات الحيوية، وتحقيق التكامل مع التطبيقات التقنية يعد نقطة الانطلاق في العلوم التطبيقية والتي تشمل النهج الهيكلي والإحيائي على مستوى العلوم المختلفة مثل الهندسية، والطبية، وعلوم المواد، والحاسبات، وغيرها من العلوم الأخرى.

إننا نعيش بحق لغة جديدة يتناغم بها العالم في سيمفونية رائعة من حولنا ألا وهى لغة التقنية الحيوية النانوية Bionanotechnology واللذان يغزوا العالم بآثارهما العلمية الفائقة والمذهلة في القرن الواحد والعشرين. التقنية النانوية الحيوية Nanobiotechnology هو التقاطع بين علم التقنية الحيوية وتقنية النانو. وينبغي القول أن خلال العقود السبعة الماضية قد نجحت المحاولات من تحويل فكرة منظور البروتينات الساكنة Static Proteins لتتطور وتصبح بروتينات متحركة Dynamic Proteins.

هذا وقد وضعت أساساً لتصميم وهندسة البروتينات Protein Engineering بوجود التقنية الحيوية وتقنية النانو والتي نضجت خلال الفترة الزمنية الحديثة، وتمكن من تصميم البروتينات لأغراض عديدة. ومما لاشك فيه أن بروتين التجميع الذاتي Self Assembly Protein يوفر مزايا فريدة في تصنيع البروتين على أساس Nanodevices، والتحايل على التكاليف الباهظة Expensive Costs في عمليات صنع الأجهزة النانوية Bioelectronics.

(٥,٢) التناغم بين العضوى واللا عضوى في تقنية النانو

Organic and Non-Organic Harmony and Nano-Technology

استمرت الحضارات المختلفة منذ آلاف السنين بالخضوع للمادة Material والانقياد إلى طاقتها Energy. فإذا سلطنا الضوء قليلاً على العصور السابقة فسنجد مايلى :

• **العصر الحجري Stone Age**

فالعصر الحجري هو فتره من عصر ما قبل التاريخ والتي استعمل فيها الإنسان عامة الحجارة لصنع الأدوات. وصنعت الأدوات من أنواع عديدة من الحجارة بتقطيعها أو نحتها لتستعمل كأدوات للتقطيع و كأسلحة. ويتقسم العصر الحجري إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

• **العصر الحجري القديم**: بدأ مع ظهور الإنسان على سطح الأرض، واستمر حتى العام ١٠٠٠٠ قبل الميلاد. وكان الإنسان في هذا العصر يعتمد على التنقل من مكان لآخر، والعيش على الصيد. ويصنع أدواته من العظام والحجارة. وفي هذا العصر تعلم البشر إشعال النار.

• **العصر الحجري الحديث**: ويبدأ من العام ١٠٠٠٠ حتى العام ٤٠٠٠ قبل الميلاد، وفيه استقر الإنسان حيث دجن الحيوانات وعمل في الزراعة.

• **عصر الحجر والمعادن**: ويبدأ العصر الذي بعد العام ٤٠٠٠ قبل الميلاد، وفيه تعرف الإنسان على المعادن وطرق صهرها.

• **العصر النحاسي Copper Age**

العصر النحاسي هو فترة من فترات تطور الحضارات البشرية التي بدأ معها استخدام الأدوات المعدنية إلى جانب الأدوات الحجرية. ويتجنب علماء الآثار ربط تسميته بالحجري، مع أن البعض يسميه العصر الحجري النحاسي. وفترة العصر النحاسي هي فترة انتقالية وهي خارج نظام الحقب الثلاث العصور التقليدي، وتقع بين العصر الحجري الحديث والعصر البرونزي.

ويبدو أن النحاس لم ينتشر بشكل واسع في البداية، وان محاولات صناعة سبائك منه مع القصدير بدأت بسرعة، مما يجعل التمييز بين حضارات العصر النحاسي وعصورها صعبا. وبسبب عدم الوضوح هذا، فإن هذه التسمية تستخدم من قبل علماء الآثار في بعض أجزاء العالم فقط. وخاصة في جنوب شرق أوروبا وغرب ووسط آسيا، حيث ظهر هناك حوالي الألف الرابع قبل الميلاد.

• **العصر البرونزي Bronze Age**

والعصر البرونزي هو عصر ظهور علم السبائك، وهذا العصر بداية ظهور علم الفلزات عندما عرف الإنسان كيف يصهر أملاح النحاس مع الفحم النباتي في البواتق والأفران لصهرها بالحرارة واختزال هذه الأملاح. وكان يخلط النحاس الغفل مع القصدير أو الأنتيمون ويصهرهما معا. وكان البرونز يستخدم في صناعة الأدوات والمعازق والمجارف والسكاكين. لأنه أكثر حدة وأطول عمرا من النحاس.

• **العصر الحديدي Iron Age**

والعصر الحديدي يمثل الفترة من العصور التاريخية التي برز فيها استعمال الإنسان للحديد في صناعة الأدوات والأسلحة. ويعتبر العصر الكريمي آخر العصور الرئيسية في نظام الحقب الثلاث ويسبقه العصر البرونزي. وتختلف تاريخيا بداية العصر الكريمي اعتمادا على المنطقة الجغرافية ولكن عموما تعتبر بداية العصر الحديدي في القرن الثاني عشر قبل الميلاد في مناطق الشرق الأوسط والهند واليونان، وفي القرن الثامن قبل الميلاد في مناطق وسط أوروبا. وتميز العصر الحديدي بتطور صناعة الحديد أكثر من الصناعات المعدنية الأخرى، حيث أن تطور عملية صهر وتقسية الحديد وتوافر مصادر إنتاج الحديد جعلت منه يتفوق على البرونز كما جعلته أرخص ثمنا. مما أدى إلى استبدال البرونز بالحديد في معظم الصناعات.

فمن العصر الحجري إلى النحاسي مروراً بالعصر البرونزي ثم العصر الحديدي وصولاً إلى أيامنا هذه، أعطت المادة والطاقة سطوة للأكثر تطوراً في السيطرة عليهما. بل يسيطر على مجريات الأمور لمن يمتلك أسرار التعامل مع المادة. وعلى غرار ذلك، فإن الذرة هي المادة أو السلاح الذي يصنع هيبة بعض الدول. فمثلا يشكل السيلكون أهم مكونات أجهزة الحاسب الآلي وشبكات الألياف الضوئية. ويتجه العلماء في دراساتهم إلى التعمّق في تصغير كل ما نستخدمه من أجهزة؛ وكذلك يتحدثون عن

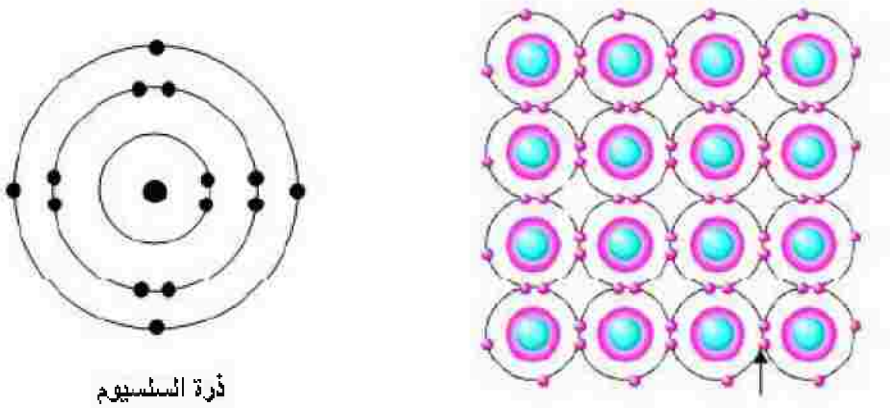
إمكان إسقاط الحواجز بين الكيمياء العضوية واللاعضوية. وهو أمر لطالما اعتُبر من قبل البعض انحراف علمي Scientific Deviation.

ويؤدي دمج العضوي مع الغير عضوي في عالم الكيمياء إلى إطالة عمر الأدوات التي نستخدمها، والتي يتألف معظمها إما من مكوّنات عضوية أو من مواد غير عضوية. فمثلاً يتألف هيكل السيارة مثلاً من مواد غير عضوية، أما قميص القطن فمواده عضوية. وعندما ندمج العضوي بالغير عضوي، نحصل على احتمالات لا نهاية لها، مثل الحبر الذي لا يزول، والدهان الذي يستقر على الخشب إلى ما لانهاية، والمعادن التي لا تصدأ وغيرها. فمجال الاندماج بين الإحيائية والحاسب الآلي، من خلال تقنية النانو Nano-Technology سيكون حقيقة واقعة.

أيضاً من خلال هذه التقنية المذهلة يمكن زرع آليات دقيقة جدا في أجسادنا تكاد لا ترى بالأعين لها القدرة على أن تسري في الشرايين الدموية بسرعة البرق كميكانيكا جاهزة لإصلاح الإعطاب أو تدمير خلايا السرطان أو الممرضات في الدم. وهذا ليس خيالا، حيث تم غرس بعض رقاقات السليسيوم Si في الأيدي لتقوم مقام الخلايا التالفة، وقام الباحث الإنجليزي Kenneth Warwick بزرع رقاقة الكترونية في جسده تفتح له باب منزله وتتعرف على كلمة السر عندما يريد فتح حاسبه الآلي.

وصرح الباحث الفرنسي الكبير جويل دو روزني أمام الملأ بأن إمكانية زرع رقاقات مذابة في بروتينات (أو هيولينات) الجسد لها القدرة على التواصل فيما بينها أصبح ممكنا. بمعنى أن القدرة على تغيير الإنسان لذاته ممكن حدوثه بفضل الإلكترونيات المتناهية في الصغر التي من غايتها صنع علب تُخزن الإلكترون والمعلومات الحيوية. وهذه الإلكترونيات الصغائرية ستحل يوما محل السلسيوم Si (وهو من أشباه النواقل، أما من الناحية الذرية، فإن أشباه النواقل توجد على شكل بللوري، تتكون من ذرات ذات أربعة إلكترونات في المدار الخارجي تسمح للذرة

بالارتباط بأربع ذرات مجاورة لها برابطة تكافئية، تمنع الإلكترونات من التحرك عبر البللور) (الشكل رقم ٣٦)، لأنها كيماوية ولها قدرة التطابق مع الصغائر الحيوية. أما آفاقها التطبيقية فلا حصر لها، منها مثلا إعادة النظر إلى المكفوفين والسمع وقد يتعداه إلى تحنيط جميع المعلومات التي يحتويها الذهن في أقراص ورقاقات الكترونية وتثبيتها من جديد في أي مخ أو على أي أعمدة وركائز نريد.

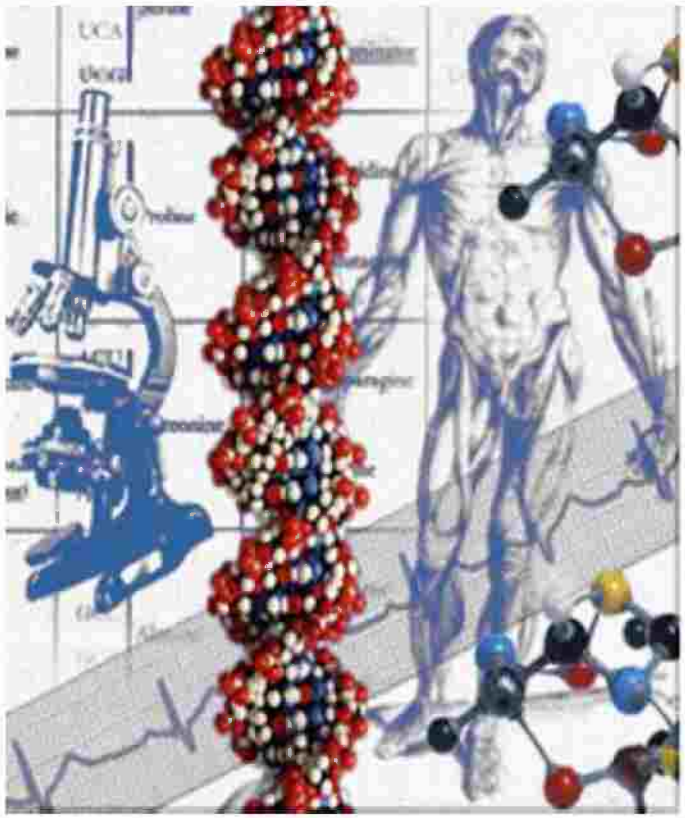


الشكل رقم (٣٦). الروابط في بللور السلسيوم التكافئية.

المصدر : http://www.umc.edu.dz.com

إجمالا إن النانوية الإحيائية والكيميائية والذرية فروع تقنية النانو تُعنى بالمستوى الجزيئي الصغائري الدقيق الذي يعد نقطة تقاطعية بين الحي وغير الحي، الطبيعي والاصطناعي، بين الصلب والسائل، مما يُعجل بمحو الحدود التقليدية التي دأبنا عليها منذ زمن (الشكل رقم ٣٧). فتشطير صلب المادة وتقسيمها إلى حدود ذرية قياسية هو إحدى خصائص التقنيات المتناهية الصغر دون منازع. والواقع أن تقنية النانو انتقلت إلى

مستوى أبعد من المجهري (بكتيريا وفيروسات وثدييات وفقاريات)، بل أصبحت مهوسة بفك أسرارها وتركيبتها الدقيقة لتتم زراعتها وتربيتها وتوليدها وصناعتها، واستخدامها في الصناعة الغذائية أمر جاري به العمل فمن يفتح علبة شوكولاته مثلاً اليوم يجد بطاقة تعريفها وكشفا شاملا لتركيبتها المادية والعضوية.



الشكل رقم (٣٧). الأنسان الجديد فى حيرة من أمره فى ظل التقنية الحيوية وتقنية النانو Bionanotechnology.

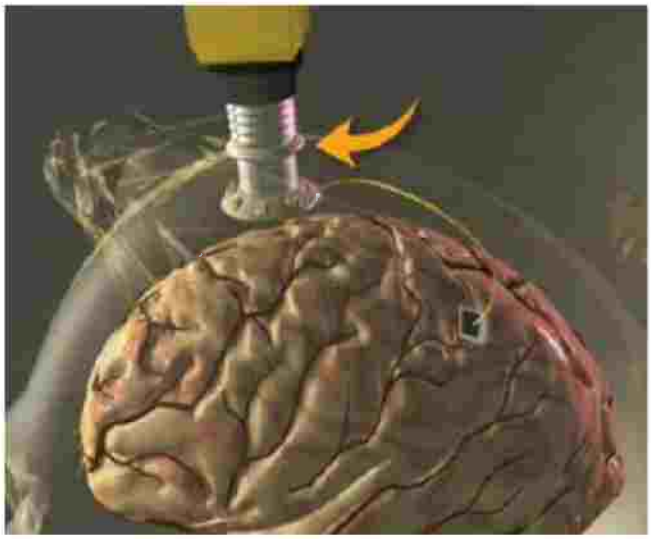
المصدر : http://www.bionanotechnology.com

ولعل ما يمكن أن نقدمه كمثال بعيد عن الروايات الخيالية والخيال العلمي الجامح، ما أشار إليه عالم أمريكي مختص في العلوم الذهنية Fodor وعلم النفس اللغوي إمكانية تبادل المعلومات والقيام بعمليات حسابية بين المخ البشرى المركزي من ناحية وحاسب آلي مدمج من ناحية أخرى بطريقة قياسية. وهو ما يعني أن أطول الإعدادات والاجتماعات والتدخلات والمناقشات التي تجرى على مستوى الهيئات والمؤسسات، يمكن أن يتم إعدادها وتبادلها وتخزينها في أقل من لمح البصر. الأمر الذي يعني المرور من حالة الإنسان الطبيعي إلى وضع إنساني اصطناعي.

وها هو الآن وفي خضم ثورة التقنية النانوية نجد مؤسسة ألكور، d'Alcor (معقل المحافظة على الخلايا الحية والبويضات والأجنة والنطاف بواسطة تقنيات التثليج والهليوم السائل، الذين يتبنون إطالة عمر الحياة بواسطة العلوم النانوية الدقيقة. أي أن الفراعنة لئن أمكنهم تحنيط أجساد الموتى والاحتفاظ بها متخطين حاجز الزمن أملا في انبعاث لاحق، فإن ما تعنيه إطالة الحياة هنا تحنيط جميع المعلومات التي يحتويها الذهن في أقراص ورقيقات إلكترونية، وتثبيتها من جديد في أي مخ أو على أية أعمدة اليكترونية وركائز وغايتها في ذلك التواصل بين الإنسان والآلة وعمل علاقة حميمة، علاقة يعجز التقني عن ملاحظة أن الإنسان الآلي موجود بداخله إلى درجة أن الإنسان سيعبر عن ردة فعل فورية إذا ما حذره الإنسان الآلي أنه في خطر (أشكال ٣٨، ٣٩). يبدأ ذلك أولا بنجاح زرع أنظمة الكترونية فرعية دقيقة في المخ أو ربطه بها، بخاصة عبر الميكرو إلكترود وهو موصل كهربائي Electrodes تمر عبره الشحنة الكهربائية أو تخرج منه إلى وسيط آخر.

أما في علم الأعصاب الإحيائي فيتعلق الأمر بغرس موصل دقيق معزول وموضوع قرب العصب أو داخله، ويمكن استعماله لالتقاط الإشارات التي يتم بثها عبر النشاط الكهربائي للخلية وتنشيطها أو هما معا. والتأثير في جميع مراكز المخ

الحساسة. ومن يدري لعله بالإمكان اختراع مضادات حيوية إلكترونية Electronic Antibiotics ضد الألم وضد العدوانية ومن أجل المتعة وتحسين قدرات الذاكرة.

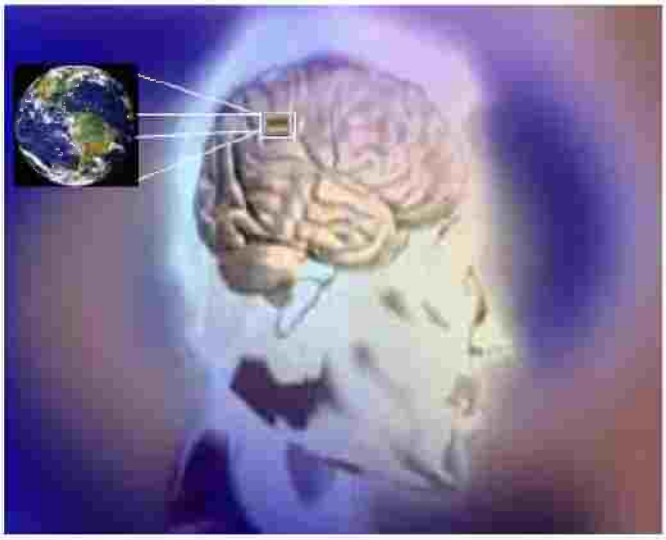


الشكل رقم (٣٨). كيفية غرس ذاكرة اصطناعيّة في المخ البشرى.

المصدر : http://www.environmentalhealthnews.org

وما يهمنا هنا هو الإشارة إلى الأبحاث النانوية التي تُجرى للتقريب بين المواد العضوية الحية والمكونات الإلكترونية للحواسيب الآلية التي تُعتمد لتخزين المعلومات ومعالجتها، بحيث ينتقل الإنسان إلى مستوى لم يسبق أن تخيله العقل البشري من خلال إدماجها في جزيئات، الحمض النووي منقوص الأوكسجين DNA أو الحمض النووي الريبيوزى RNA، وكذلك عناصر الأنظمة العصبية مما يسمح في المستقبل بزراعتها في جسد الإنسان نفسه. وتقنية النانو من الناحية التطبيقية وعلى مستوى الانشطار الذري والخلوي، يمكن أن تطور هندسة إلكترونية إحيائية. ما يعني في الأمد

المنظور إزالة الحواجز بين الهندسة الإلكترونية والهندسة الوراثية وهذا من شأنه ابتكار جديد للجزيئات القادرة على أن تُدمج بين العضوية الإنسانية الدقيقة والألياف الإلكترونية المجهرية، الأمر الذي يعد مؤشرا على ميلاد عصر جديد يجمع بين الإنسان والآلة وبين الطبيعي والاصطناعي في سلة واحدة، مما يجعل إمكانية تطوير حواس الإنسان مسألة قابلة للتحقق. كذلك يحتضن علم تقنية النانو في زواجه المعلن بين الكيمياء والفيزياء والأحياء زرع آليات دقيقة جدا في أجسادنا هذه المرة، تكاد لا ترى بالأعين، لكنها في الوقت ذاته لها القدرة على أن تسري في الشرايين الدموية بسرعة البرق كميكانيكا جاهزة لإصلاح الخلل وتدمير خلايا السرطان في الجسم. ولم لا تعمل على تطوير قدراتنا الحسية والعضوية والذهنية.



الشكل رقم (٣٩). الأنسان المعدل بتقنية النانو والتقنية الحيوية.

المصدر : http://www.environmentalhealthnews.org

(٥,٣) مشابهات الحمض النووى وتقنية النانو
DNA Analogues and Nano-Technology

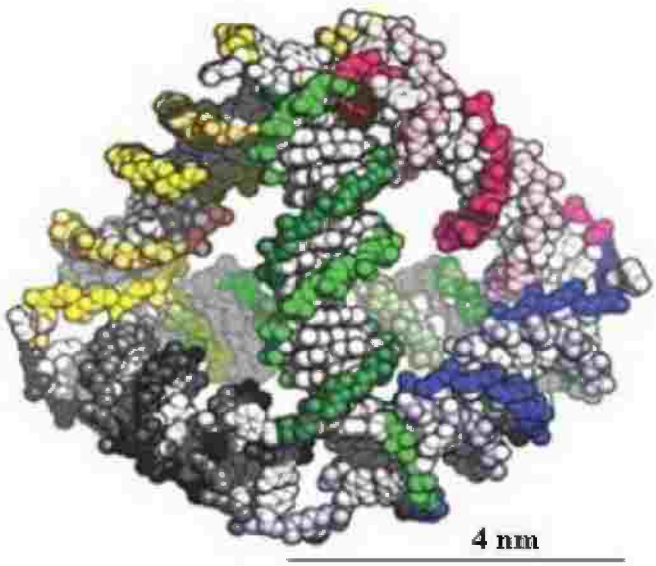
لعل من أسباب اللجوء إلى مشابهات الحمض النووى DNA Analogues هو إدخال صفات جديدة في المنتج الجديد والتي تتحمل إدخالها في المواد الإحيائية النانوية الجديدة Bionanomaterials وفي هذا الاتجاه حاول العالمين والباحثين Jonathan Bath وAndrew Turberfield عام ٢٠٠٧م إنشاء المحركات الجزيئية الحيوية من الحمض النووي. واستلهم هذا البحث النظم الحيوية التي تعمل فيها الجزيئات الفردية بمفردها باعتبارها الأجهزة المتخصصة: وكان ذلك طموح هؤلاء العلماء هو تشييد التقنية الجديدة للقيام بمهام يتعثر الحصول والوصول إليها وهى Bionano-Machines باستخدام الحمض النووي.

وتقنية Nano-DNA Deoxyribonucleic acid (DNA) تعتمد على التفاعلات المتسلسلة المتخصصة التي تربط وتكمل بعضها البعض بالقواعد النيتروجينية Oligonucleotides في الخيط المذدوج DNA helix. ويمكن تنشيط التفاعلات عبر إشارات جزيئية مع الجزيئات أو بتغييرات في البيئة المحيطة. ويمكن استخدام بعض العقاقير الذكية أو تخليق جزئ كيميائي مبرمج Programmed Molecule وهذه الأجهزة تتحرك عبر الاستشعار الجزيئي Molecular Sensing.

وقد ثبت علمياً أنه يمكن صنع محركات جزيئية Molecular Motors للحمض النووى والتي تتحرك بصورة ذاتية Self-Motion وفقاً للاستشعار الجزيئي، وهذا يمكن من الحصول على الطاقة عن طريق حفز التفاعل بين DNA وRNA (أشكال ٤٠، ٤١) ومما لاشك فيه أن العمل على هذا النحو سيعطى إمكانات كبيرة في شتى المجالات وخاصة التطبيقات الطبية الإلكترونية Medical and Electronic Applications. وباعتبار أن الحامض النووى (البنية الأساسية للمادة الوراثية) يتميز بخاصية التضاعف الذاتي

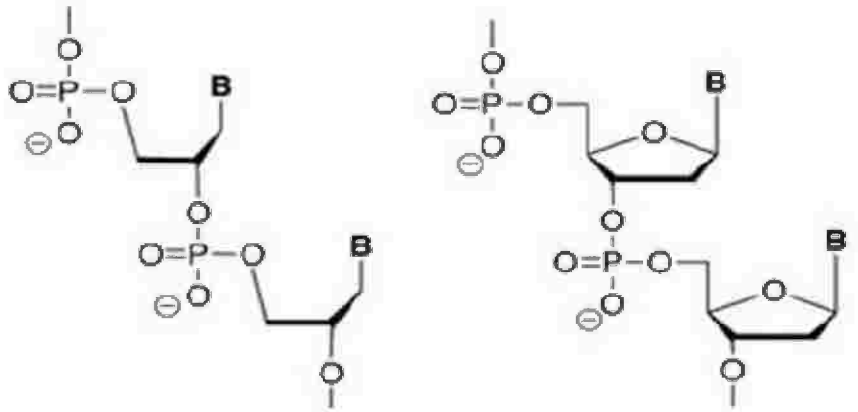
وهذه ميزة فريدة في البناء الحيوي لذلك يعد أداة جيدة في تقنية النانو. وعلى النهج السابق استخدم أحد العلماء في معهد Biodesign في جامعة ولاية أريزونا الحمض النووى DNA للحصول على كائنات بحجم النانو معقدة التركيب.

وأعتمد العالمان Hao وYang على بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية المميزة لهذا الجزيء DNA في بناء معقد متناهي في الصغر أو Nano-Structure. وتمكن Chaput الأستاذ المساعد بجامعة ولاية أريزونا وفريقه البحثي من الحصول على Self-Assembled Nano-Structures من Glycerol nucleic acid (GNA) a synthetic analog of DNA وهو مشابه DNA (الشكل رقم ٤٠).



الشكل رقم (٣٩). المحركات الجزيئية الحيوية من الحمض النووي.

المصدر : http://www.jareed.com

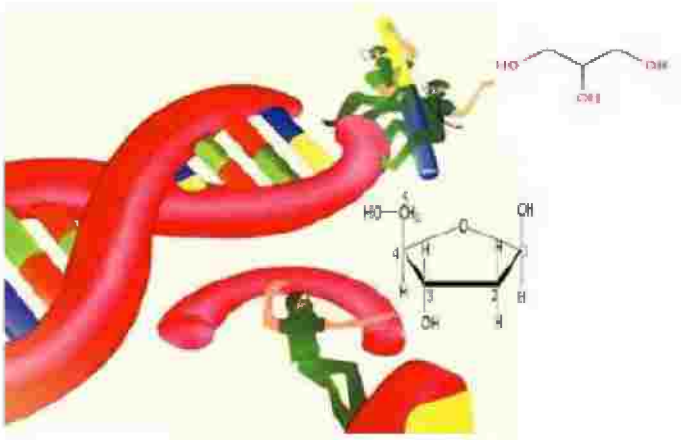


الشكل رقم (٤٠). الفرق بين الحمض النووي منقوص الأكسجين ومشابهه.

(٥,٣,١) تقنية البناء للحمض النووى منقوص الاكسجين

Construction Technology of DNA

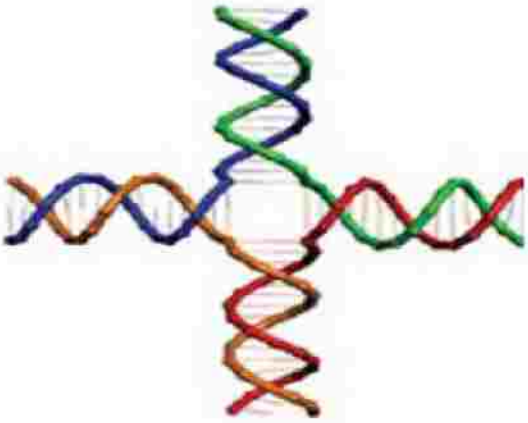
فكما نعرف أن الحمض النووى منقوص الأكسجين DNA يتكون من ثلاثة أجزاء بسيطة فقط وهى جزيء فوسفات التي تشكل العمود الفقري Backbone لسلم الحمض النووى وواحدة من الأربع قواعد النتروجينية (أدينين – جوانين – ثيامين – سيتوسين) والسكر الخماسى. أما في حالة GNA ويعتبر الجليسرولGlycerol أو السكر هو مصدر الاختلاف الوحيد مع الحمض النووى. والسكر الخماسى المحتوى على خمسة ذرات كربون يكون دائماً في الحامض النووى ويسمى بالريبوز منقوص الأكسجين Deoxyribose، والذى سيتم الاستعاضة عنه بسكر الجليسرول Glycerol الذي يتضمن ثلاث ذرات الكربون (الشكل رقم ٤١).



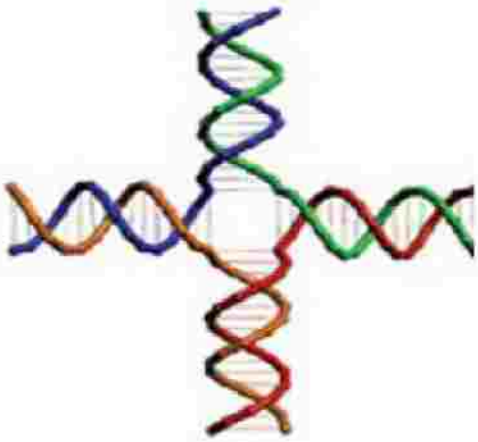
الشكل رقم (٤١). إعادة بناء جزيئ DNA من خلال تقنية النانو.

وقد كان Chaput لديه الاهتمام الكلى والجزئي بالإجراءات التى من خلالها يتم الإنشاءات الكيميائية المستخدمة في وضع جزيئات مثل البروتين والأحماض النووية والتي لم تكن موجودة في الطبيعة. وكما نعلم أيضاً أن الأحماض النووية والبروتينات يتم تكوينها وترجمة ما بها بالدوران حول اليمين Right-Handed. أما فيما يتعلق بمماثل DNA أو GNA فتبين أن جزيئاته Enantiomeric يمكن وصفها من الناحية الكيميائية أنها دوران حول اليمين واليسار Right Handed Left and (الشكل رقم ٤٢).

وتمكن العلماء بهذه الحقيقة العلمية من الحصول على تركيب نانوى Nano-Structures من DNA، كما وجد فريق البحث عدداً من الخصائص الفيزيائية والكيميائية التي ينفرد بها هذا المشابه أو GNA بما في ذلك التحمل الحراري الأعلى من الحمض النووي العادى. وبالفعل قد تحقق حلم العالم Chaput من بناء جزيئات صناعية تماثل الحمض النووى الطبيعي داخل الخلايا، ولكن تحتوى على خصائص إضافية غير موجود في طبيعية الحمض النووى مثل تحمل درجات الحرارة العالية.



Left-handed
4 Hilex Junction



Right-handed
4 Hilex Junction

الشكل رقم (٤٢). طريقة دوران الحمض النووى منقوص الأكسجين.

المصدر: http://en.wikipedia.org/wiki/Glycerol_nucleic_acid

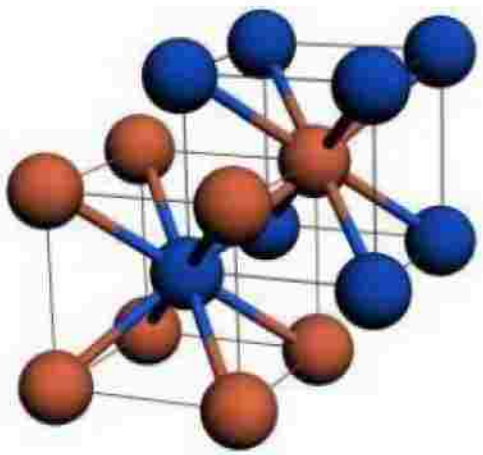
والآن بهذه التقنية الجديدة يمكن من أنتاج مواد جديدة نانوية Nano-Structures (صنع البروتين داخل الخلية) بمواصفات إحيائية خاصة. وليس هذا فقط بل لقد أصبح من الممكن زيادة طول الحمض النووي منقوص الأكسجين (DAN) إلى ملليمتر إضافي.

ويعتبر هذا الانجاز شيء غير مسبوق وتطوراً هائلاً في عالم الإحيائية الجزيئية Molecular Biology، والشيء المثير هنا أن الأحماض النووية لا تزيد سماكة الواحد عن ٣ نانومتر وأطوالها قصيرة جداً. وتعد أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار والمستخدمة في صناعة المجسات الخاصة بالحمض النووي طفرة علمية لا مثيل لها. ويمكن تجميع عدد من الأجهزة الحيوية المختلفة في رقاقة واحدة صغيرة. وقد بات من الواضح إمكانية تناول الإحيائية الجزيئية بأسلوب جديد تماماً باستخدام تقنية النانو حيث يحاول العلماء إيجاد تطبيقات جديدة مثل تحرير المورث (الجين)، وتهجين الحمض النووي، وإصلاح المورثات (الجينات).

(٥,٤) التوأمة بين الإحيائية الجزيئية وتقنية النانو
Twinning Between Molecular Biology and Nanotechnology

وهناك التوأمة والزواج الغير معلن بين الإحيائية الجزيئية Molecular Biology التي تختص بدراسة الأحماض النووية الوراثية DNA & RNA والثاني وهو تقنية النانو Nano-Technology ويمكن باختصار القول أن تقنية النانو تقوم بتصنيع مركبات وبللورات أو حتى أجزاء من آلات في أبعاد نانوية Nano Dementions فمثلا يمكنك عمل ترس لآلة طوله ٢ أو ٣ نانومتر وبالتالي يمكننا عمل آلة كاملة حجمها واحد مللي ميتر. وأيضا يستفاد بهذه التقنية في التحكم في مواضع الجزيئات وترتيبها فتنتج مواد أكثر صلابة وذات خصائص مختلفة سواء بصرية أو مغناطيسية ....إلخ. هذا ويتم استخدام DNA في تقنية النانو ففي خطوة فريدة من نوعها حيث تمكن باحثون من قسم الطاقة في مختبرات بروكهافن الوطنية Brookhaven National Laboratory من استخدام جزيئات DNA كدلائل أو قوالب لصنع مركبات نانوي بطريقة هندسية مرتبة ومنظمة.

وجدير بالذكر أن هذا الأجراء الفريد قد مكن العلماء في هذا المجال من عمل مركبات جديدة على مقياس النانو ذات خصائص هي أيضا فريدة من نوعها ومتحكم في شكلها بدقة متناهية، على سبيل المثال تتحلى هذه المركبات بمغناطيسية أفضل وتعمل بشكل أفضل كعوامل مساعدة حيوية Bio-catalysts للتفاعلات الكيميائية بالإضافة إلى خصائص أخرى جديدة. وبهذه التقنية يمكن الحصول على روابط وجزيئات من الحمض النووى منقوص الأكسجين DNA يمكن ان تستخدم في برمجة مركبات نانوية وتفاعلها مع بعضها كما يقول العالم Oleg Gang وهو قائد الفريق الذى قام بهذا البحث. ومن الناحية النظرية يمكن لجزيئات الحمض النووى منقوص الأكسجين DNA أن تصنع مركبات نانوية ثلاثية الأبعاد Three Demintional Nanocompounds، لكن هذه أول مرة يتحقق هذا الأمر مخبرياً على أرض الواقع (الشكل رقم ٤٣).



الشكل رقم (٤٣). بلورات نانوية ثلاثية الأبعاد من DNA.

المصدر : http://www.nanotechnology.com

ويمكن بهذه التقنية صنع هذه البللورات الثلاثية الأبعاد في استغلال قوى التجاذب بين قواعد الحمض النووى منقوص الأكسجين DNA الأربع قواعد النتروجينية Adenine (A), Thymine (T), Gunine (G), Cytosine (C) وكذلك التجاذب والتكامل بين C مع G و T مع A ، ويكون بين كل قاعدتين قوة تجاذب تعمل على التحامهما معا لتكوين المادة الوراثية في الإنسان.

وبهذا الإنجاز تم توصيل وإمداد مركبات نانوية على شكل امتدادات في كل قاعدة من القواعد المتكاملة وتليها الخطوة الثانية في غمر هذه القواعد في سائل وبالتالي فإن القواعد المتكاملة ستتحد مع بعضها بما عليها من مركبات نانوية لتتحد أيضا هذه المركبات مع بعضها لكن بشكل محدد مسبقا.

ومع أن هذا الإتحاد الأولى مهم جدا للعملية إلا أنه ليس كافيا فيتم تسخين الخليط وتبريده (وهو أسلوب قديم معروف من قبل) لزيادة عدد القواعد المتكاملة المتحدة لينتج مركب جديد شبكي ثلاثي الأبعاد بخصائص مذهلة.

فهذه البللورة الناتجة (المركبات النانوية) تمثل حجماً ٥٪ من الحجم الكلى للحمض النووى منقوص الأكسجين DNA، وباقى الحجم والذي يمثل ٩٥٪ يمكن تكميله بإضافة أشياء أخرى له كالبروتينات Proteins والمركبات عديدة الجزيئات المتشابهة Polymers أو أي شيء لازم للتطبيقات المستقبلية، حيث يعمل DNA كدعامة لهذه المركبات المضافة.

والجدير بالذكر أن هذه المركبات ثابتة حرارياً Thermostable بشكل كبير وهذا ما أثبتته التجارب، كما أنها أيضا حساسة Sensitive جدا للتمدد والتغير الحراري أكثر ١٠٠ مرة من المركبات الأخرى العادية، مما يفتح الباب أمام استخدامها في عمليات حفظ الطاقة وتحويلها وأيضا في تطبيقات الإحساس الحراري.

في الحقيقة إن هذا الإنجاز الغير مسبوق يعتبر خطوة أولى في صنع مركبات حيوية نانوية Bionanomaterials منظمة ومرتبة بل يفتح طرقا كثيرة أمام العلماء وهو ما يجعله في غاية الإثارة.

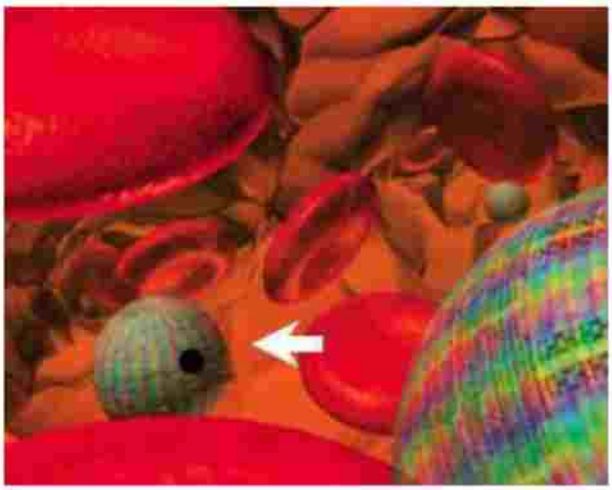
(٥,٥) الخلية التنفسية النانوية
Respirocyte Nano

الخلية التنفسية هي عبارة عن آلة نانوية Bionanomachine ، أو جهاز ميكانيكي مصمم ليعمل على مستوى الجزيئات، وتمثل أحد التطبيقات الهامة والتي تعزز التوأمة بين التقنية الحيوية وتقنية النانو Bionanotechnology.

ويبلغ قياس نصف قطر هذه الخلية النانوية مابين ٠.٢ إلى ٢ نانومتر، وتعد الخلية التنفسية النانوية Respirocyte Nano شكلاً من أشكال تقنية النانو Nano-Technology. وتقوم بعمل نفس وظيفة خلايا الدم الحمراء بنقل الأكسجين. وثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide على مستوى الجسم بأكمله حيث يمثل اللون الأزرق الغرفة المخصصة لتجميع الأكسجين، واللون الأخضر الغرفة المخصصة لتجميع ثاني أكسيد الكربون.

والبقعة السوداء في المنتصف تمثل حاسب آلي الجهاز الذي ينظم عملها ليحاكي عمل خلية الدم الحمراء. أما المنفذ الشمالي والجنوبي في الجهاز فهما مخصصاً لدخول الماء وسكر الجلوكوز لحرقه واستخدام الطاقة الناتجة لعمل الجهاز (الشكل رقم ٤٤).

وتسمح هذه المعجزة العلمية النانوية Nano Scientific Miracle بتبادل الغازات عن طريق عجلة منظمة جزيئية أو يمكن تسميته بدولاب لف منظم جزيئي تشبه في شكلها تلك الأجهزة القديمة المستخدمة في المزارع أو عن الشلالات لإنتاج الطاقة والعجلة أو الدولاب لها أطراف خاصة الشكل لتلتقط فقط الغازات التي يناسب شكلها شكل أطرافها. ويتم تخزين الغازات في غرف أو خزانات داخل الجهاز.



الشكل رقم (٤٤). خلية تنفسية نانوية تقوم بنفس عمل خلية الدم الحمراء.

المصدر : http://www.bionanotechnology.com

ولكل جهاز ممثل للخلية التنفسية Respirocyte Nano ثلاث أنواع من العجلات الخاصة :

١- العجلة الأولى : خاصة بالتقاط الأكسجين من الرئتين أو عن طريق تعبئتها صناعيا قبل إدخالها في الجسم. كما أنها مسئولة عن إخراج الأكسجين إلى الدم وإمداد الأنسجة بالأكسجين خلال دورانها في أوعية الدم.

٢- العجلة الثانية : مختصة لالتقاط غاز ثاني أكسيد الكربون في الجسم.

٣- العجلة الثالثة : وتمثل جهاز الطاقة، وهو جهاز خاص لالتقاط السكر من الدم لحرقه واستخدام الطاقة الناتجة لعمل الجهاز كما ذكر سابقا.

وتستخدم الخلية التنفسية النانوية Respirocyte Nano في كونها بديلاً لخلايا الدم الحمراء بشكل مؤقت في حالات الطوارئ عندما ينقص معدل الأكسجين في جسم

الإنسان، فيتم إمداد المريض بالخلية التنفسية النانوية المعبأة بالأكسجين مسبقا لكي تطلقه هذه الأجهزة الصغيرة إثناء دورانها في الأوعية الدموية.

ففي بعض الحالات قد لا يمكن إمداد المريض بالأوكسجين الصناعي عن طريق الفم أو الأنف لوجود انسداد في المجرى التنفسي أو أي خلل يمنع كريات الدم الحمراء الطبيعية من حمل ونقل الأوكسجين. كما تستخدم أيضا الخلية التنفسية Respirocyte Nano النانوية في حالات التسمم بغاز أول أكسيد الكربون الضار والذي يؤدي إلى الوفاة. ففي الوقت الحالي لا يمكن إخراج غاز أول أكسيد الكربون إذا تشبع الجسم منه. أما مع الخلية التنفسية النانوية فإنها تحقن في أوعية المريض وبمجساتها الخاصة تقوم بالتقاط غاز أول أكسيد الكربون Carbon Monoxide وتنظيف الدم والجسم منه. كما يعاني أيضاً الغواصون عند صعودهم المفاجئ إلى السطح من خروج النيتروجين إلى الدم مما يؤدي إلى تكون فقاقيع قد تؤدي بدورها إلى مشاكل خطيرة. وعند هؤلاء يمكن استخدام الخلية التنفسية النانوية أيضاً لالتقاط النيتروجين الضار وتنظيف الجسم منه.

كما تتعدد المجالات التي يمكن لتقنية النانو تقديم الحلول لها خاصة في مجالات التطور التقني في الطب والهندسة العسكرية والأمن القومي وبعضها يتجلى بابتكار أعضاء وبدائل مصنعة لأجزاء من الجسم بما يتيح رفع مستوى وقدرات الأداء البشري أما بالنسبة تقنية النانو روبوت Nanorobot فالمرحلة المقبلة في عمليات التصغير يمكن أن تؤدي إلى تصنيع محركات أو آليات ميكروسكوبية Microscopic Robots للمساعدة في دراسة الخلايا والنظم الحيوية، بالإضافة إلى الألياف Fibers.

ومن منتجات تقنية النانو أيضاً ما يسمى " قلادة تشي Chi Pendant " نسبة للعالم صاحب فكرتها، وهي قلادة زجاجية غير عادية إذ أنها مصنعة من الزجاج الخاص الذي تصنع منه نوافذ المراكب الفضائية كي يتحمل درجات حرارة فائقة تقدر بحوالي ٣٠٠٠ درجة مئوية تذاب فيها ذرات من معادن معينة تبعث في مجال تأثيرها طاقة حيوية

تعطي جسم الشخص الذي يضعها على صدره طاقة كبيرة تزيد من قدراته على تحمل كافة الضغوط النفسية والجسدية. وأيضا قلادة تشي تحسن أيضاً القوة العصبية ومقدرة تحمل الشخص للشدائد العصبية والنفسية والجسدية سواء كان رياضياً محترفاً أم طالباً أم دارساً مفكراً أم سائق سيارة وسط الزحام الشديد، والسبب العلمي كما وجدت هو تنظيم استقرارية إيقاعات ألفا في الجسم التي تتحكم بمفاصل الجسم البشري.

(٥,٦) المخ البشرى بين تقنية النانو والتقنية الحيوية

Human Barain Between Nano-Technology and Biotechnology

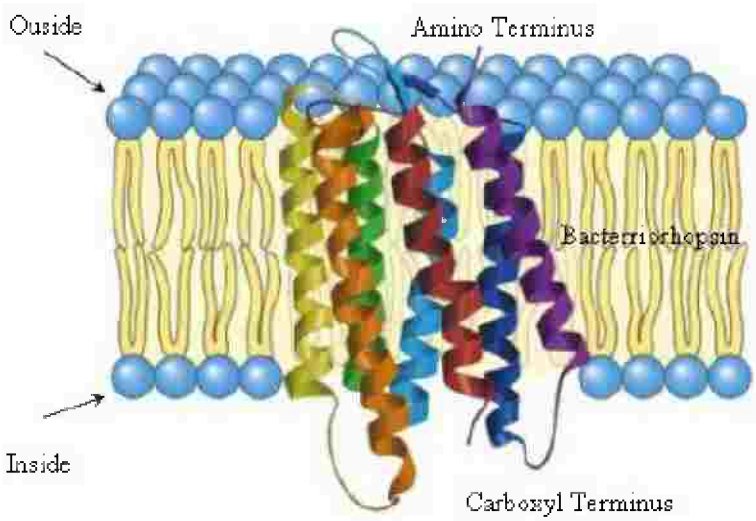
تتكون الرأس البشرية من شبكة عمل معقدة من الجزيئات العضوية والتى لها القدرة على الحساب والمعالجة المنطقية واسترجاع، وربط المعلومات، والتفكير، والاحساس. والحاسبات الآلية الرقمية المستخدمة الآن Digital Computers بكل تأكيد تنجز العمليات الحسابية بسرعة ودقة تفوق قدرة الانسان. ولكن التفكير والإحساس وربط المعلومات لاستنتاج شيء ما لا يمكن للحاسب آلي القيام به. ولأن مصممو الحاسب الآلي يدركوا جيدا أنهم لن يكونوا قادرين على تصنيع آلة لها مواصفات الرأس البشرى، ولكنهم إذا تمكنوا من صنع مكونات الحاسب الآلي المادية Hardware من الجزيئات الحيوية وبالتحديد البروتينات Proteins فإن حجم الحاسب الآلي سيصبح أصغر بكثير مما هو عليه الآن وأقوى من أي آلة الكترونية.

انه منذ عام ١٩٦٠م وصناعة الحاسب الآلي مبنية على تقنية أشباه الموصلات Semiconductor وقد حققت تقدم ونجاح عظيم من حيث تصغير حجم المكونات المادية للحاسب آلي وزيادة كفاءة وقدرة الحاسب الآلي على تخزين المعلومات ومعالجتها. وكما هو معلوم أن مكونات الحاسب الآلي تعتمد في عملها على البوابات المنطقية Logic Gates حيث تقوم بالانتقال بين حالتين مختلفتين أطلق على الأولى الرقم ٥ وعلى الثانية الرقم ١، وكلما زادت سرعة الانتقال بين هاتين الحالتين كلما زادت سرعة

الحاسب الآلي في تبادل المعلومات لأن كل معلومة تكون مخزنة في شفرة من الحالتين ٥ أو ١ وتسمى هذه بالعد الثنائي Binary Digits.

والسؤال الآن هل يمكن استخدام الجزئيات الحيوية لتنتقل بين حالتين مختلفتين تكون الأولى ٥ والثانية ١ على سبيل المثال. والإجابة على ذلك هي نعم لأن ذرات هذه الجزئيات تتحرك وتغير مواقعها بطريقة منتظمة وبالتالي فإنه إذا أمكن جعل حركة هذه الذرات في الجزئيات محصورة في حركتين فقط فإنه يمكن تصميم مكونات الحاسب الآلي تلك الجزئيات وستكون بدون شك أصغر حجما مما هي عليه الآن حيث أن حجم الجزئيات يبلغ ١/١٠٠٠ من حجم البوابات المنطقية المستخدمة الآن والمصنعة من أنصاف الموصلات. وهذا يعنى أن تحصل على حاسب آلي أسرع بما يعادل ١٠٠٠ مرة من سرعة حاسب آلي موجود الآن. وحتى الآن لم يتم تصحيح هذا النوع من الحاسب الآلي (الحاسب الآلي الحيوي). ولكن البحث العلمي جارى على تطوير حاسب آلي هجين Hybrid Computer يجمع في تصميم مكوناته بين أنصاف الموصلات والجزئيات الأحيائية. ولازالت العديد من الأبحاث والتجارب تجرى على جزئيات حيوية وقد تبين أن Bacterriorhopsin وهو جزء لا يتجزأ من الأغشية البروتينة التي توجد عادة في بللورية ثنائية الأبعاد أو بقع معروف بغشاء أرجواني، والتي يمكن أن تحتل ما يقرب من ٥٠٪ من المساحة السطحية الخلية (الشكل رقم ٤٥).

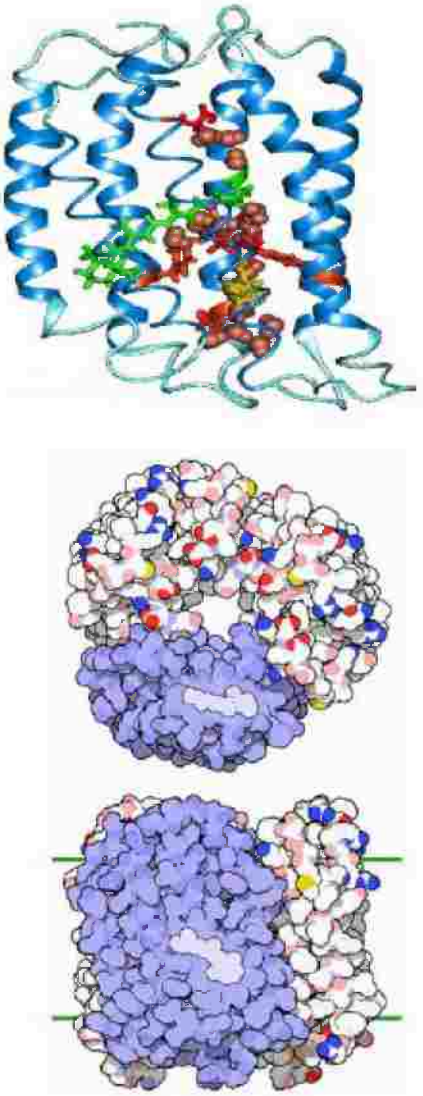
ويستخدم هذا البروتين من قبل الهالوبكتيريا Halobacteria والأراكيا (البكتريا الأثرية) Archaea ويعمل كمضخة للبرتونات). وبذلك يحقق الغاية المطلوبة منه حيث وجد أن هذا الجزيء يظهر تصرف وسلوك غير عادى عند تعرضه للضوء حيث أن جزيء Rhopsin الموجود في عين الإنسان عندما يتعرض إلى ضوء معين يحدث تغير في بنيته التركيبية مما ينتج عنها انطلاق طاقة تستخدم كإشارة كهربية لتوصيل معلومة إلى الرأس البشرى.



الشكل رقم (٤٥). جهاز التمثيل الضوئي Photosynthetic system في Halobacteria.

المصدر : http://www.jstor.org/pss/25740

وجزيء Bacteriorhopsin تم اكتشافه على أيدي علماء روس وتابع هذا العمل فريق روسي وأطلقوا على المشروع Rhodopsin Project، والعديد من أسرار هذا المشروع غير معروفة وتعد من الأسرار الحربية (الشكل رقم ٤٦). استخدم هذا الجزيء في الأبحاث الجارية لتطوير وحدة التحكم المركزية Central Processing Unit (CPU) وكذلك لتطوير نوع جديد من الذاكرة Memory لأنهما أساس تطور الحاسب الآلي، وقد اعتمدت الأبحاث على إيجاد وسيلة لتغير حالة الجزيء البروتيني المذكور وإرجاعه إلى وضعه الطبيعي وذلك باستخدام شعاعين ليزر، الأول يغير تركيب الجزيء والثاني يعيده إلى وضعه الطبيعي وأطلق على الحالة الأولى ٥ والثانية ١.



الشكل رقم (٤٦). جزيئات بروتين Bacterriorhopsin فى Halobacteria.

المصدر : http://www.jstor.org/pss/25740

وفي النهاية هذا الحاسب الآلي الهجين Hybrid Computer سوف يكون ذو كفاءة خيالية حيث سوف يقوم بعمليات معالجة لعدد ضخم من المعلومات كما سوف يقوم بإجراء العديد من المحاكاة العلمية للعديد من الظواهر المعقدة Computer Simulations وسيضع أسس لما يسمى بالذكاء الصناعي Artificial Intelligence.

هذا بالإضافة إلى قدرة تخزينية تصل إلى مدى خيالي. فلنتخيل أنه يمكننا مع ذاكرة تحتوى على ما يعادل أكبر موسوعة في العالم. والشيء المثير هو أن فكرة هذا الحاسب الآلي الحيوي تقوم بعمل الخلايا العصبية في جسم الإنسان وبالتالي سوف يكون لها القدرة على التعلم وتحليل المعلومات والصور كما بفعل العقل البشرى.

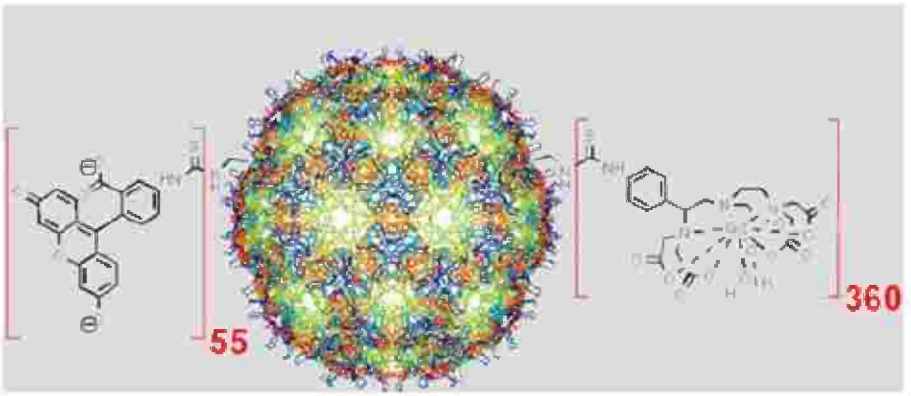
(٥,٧) فيروسات إنتاج الطاقة في الأجهزة الدقيقة
Fine Systems Energy Production Viruses

أعلن الباحثون العاملون في إنتاج الأجهزة الشديدة الدقة والشديدة الصغر أنهم قد استطاعوا أن يدربوا الفيروسات على المساهمة في نقل الخلايا الصغيرة داخل البطاريات الصغيرة، وذلك للمساهمة في إنتاج الطاقة داخل بطاريات من نوع ايون الليثيوم، وذلك حسب ما نُشر في موقع ومجلة العلوم Sciences وكذلك في جامعة رايس وجنوب كاليفورنيا اللتين تسعيان إلى إنتاج روبوت مزود بعدد من البكتريا القادرة على إنتاج الطاقة.

وكذلك استخدام هذه الربوبتات في إنتاج أجهزة للتجسس وطائرات صغيرة الحجم قادرة على حمل كاميرات مراقبة وأيضاً صناعة روبوتات صغيرة قادرة على الحركة في مناطق محظورة للتصوير وهكذا، ولكي يتم ذلك كان لا بد من استخدام تقنية النانو لصنع هذه الأجهزة الصغيرة جداً. وتمكن تقنية النانو مصممي الأجهزة الدقيقة من صنع أسلاك توصيل متقاربة جداً وإلى مسافات تصل إلى النانومتر دون

حدوث مشكلات مثل تضارب الموجات الكهرومغناطيسية Magnetic Waves والتي ينتج عنها اختلاط الإشارات الكهربائية بين الأسلاك المتجاورة، وبالتالي تدمير المعلومات والفشل في عملية التحكم كما يطلق على الفيروس اسم علمي هو M_{31} .

وتقوم مجموعة وفرق بحثية دولية بقيادة مؤسسة ميتشيوسيتس Massachusetts للتقنية (وهو أحد الجهات الأكاديمية في أمريكا، حاز علمائه أيضا على ٦٤ جائزة نوبل حتى الآن وهو بذلك يكون أيضا أكبر معهد في العالم من حيث عدد مرات الحصول على الجائزة وهو الأفضل على الإطلاق على المستوى العالمي في مجال تدريس العلوم الهندسية وتخريج أفضل المخترعين) بتدريب هذا الفيروس المعدل وراثياً بحيث أصبح جداره الخلوي الخارجي ينجذب إلى مادة أكسيد الكوبالت وعندما يوضع الفيروس في سائل كلورايد الكوبالت المضاف إليه القليل من الذهب من أجل التوازن الإليكتروني للمعادل فإن الفيروس ينجذب فوراً نحو كريستالات أكسيد الكوبالت فيجمعها ويصنع منها خط توصيل دقيق جداً للطاقة داخل السائل (الشكل رقم ٤٧).



الشكل رقم (٤٧). فيروس معدل وراثيا.

المصدر : http://www.bionanotechnology.com

ولكي يتم الحصول على أعداد كبيرة من هذه الفيروسات في الخلية أو البطارية السائلة فقد تم وضع مجموعة من الحاضنات المكونة من بكتريا الأكبر حجماً بالطبع من الفيروسات تتم داخلها عمليات التكاثر والتي تُعد وسطاً ملائماً للفيروس، وهكذا فإن عموداً طويلاً داخل الخلية مكونا من فيروس مغطى بمادة أكسيد الكوبالت سيكون قطباً موجباً دقيقاً قادراً على نقل الإليكترونات وسيتم إنتاج بطاريات لا يتجاوز حجمها سمك حبة الأرز، حيث يبلغ قطب البطارية سمك ستة نانومتر فقط (النانو واحد على بليون من المتر) وبطول ٩٠٠ نانو متر تقريباً.

ويجدر بالإشارة أن فريق من الباحثين في معهد ماساتشوستس Massachusetts التقني استطاع اختراع وتطوير أول بطارية نانو في العالم. والتي تحوي فيروسات حية لبناء الهيكل الداخلي لهذه البطارية حيث تمت هندسة الفيروسات جينيا بحيث تقوم بجذب الجزيئات الفردية من المواد المراد صنع أجزاء البطارية الداخلية بها (كالأسلاك والأقطاب الكهربائية) وبذلك يستغني الباحثون عن عناء تركيب أجزاء البطارية المتناهية الصغر بطريقة يدوية خصوصا وأن الأسلاك الداخلية لهذه البطارية أصغر ١٧٠٠٠ مرة من سمك ورقة كراس عادية. يوجد ثلاثة أنواع لهذه البطارية:

النوع الأول: وهو طبقة رقيقة تشبه الشريط الفيلمي، وحجمه كحجم خلية من خلايا الإنسان، ومن الممكن استخدامه في تشغيل الأجهزة الطبية الصغيرة التي قد تزرع في جسم الإنسان.

النوع الثاني: وهو ذو شكل مشابه للشبكة يتم استخدامه للتطبيقات الأكبر كأجهزة الحاسب الآلي المحمول والسيارات.

النوع الثالث: وهو ذو شكل خيطي كريستالي مشابه لخيوط العنكبوت ويتم دمجه وتخيطه مع الأقمشة لتوفير ملابس مزودة للطاقة وهذا النوع للاستخدامات العسكرية.

(٥,٨) استخدام الجسيمات النانوية والفيروسات في إصلاح الخلل الوراثي
Nano-Particles and Viruses use in Genetical Imbalance Reformance

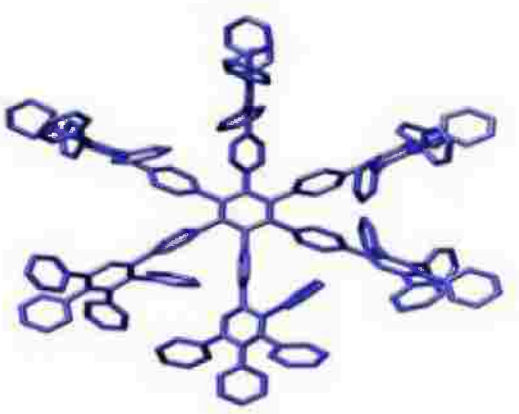
لقد ساهم العلم الحديث في معرفة وتحديد أكثر من ٣٠٠ مرض منقول وراثيًا، هذا وتبذل المجهودات الطبية الكبيرة في كل مختلف المعاهد الطبية في العالم من أجل وقف انتقال هذه الأمراض أو الشفاء منها عن طريق إصلاح الخلل الوراثي، وذلك بتحويل الجينات غير الطبيعية واستبدالها بأخرى طبيعية بإدخال المورث (الجين) الصحيح في المكان الصحيح أو العلاج بالجينات .Gene Therapy

وقد استعملت الفيروسات لفترة في ظل التقنية الحيوية كناقل للجين في بعض الأمراض الوراثية ولكن لهذه الطريقة أعراضها الجانبية الخطيرة إذا لم تنظم المادة الوراثية للفيروس RNA والحاملة للمورث المرغوب مع موروثات المريض.

وهنا نجد أن تقنية النانو قد استفادت من هذا السبق العلمي وقامت بتطويره حيث ساهمت بدرجة عالية في دراسة RNA للناقل الفيرسى كناقل لهذه المورثات (الجينات). وقد تم استخدام بعض Nanoparticles بدلا من الفيروسات باستخدام الجسيمات النانوية لاستعمالها كناقل للمورثات (للجينات) في صورة متعددة الجزيئات المتشابهة وهى Dendrimers (الشكل رقم ٤٨).

وعلى هذا يتسارع التطور في مجالات تقنيات النانو الحيوية Nanobiotechnology ويتوقع العلماء والباحثون أن تسهم هذه التقنيات في إنتاج تطبيقات كثيرة في شتى المجالات الحياتية كما سردنا من قبل.

وقد بدأت الأبحاث المنشورة حديثاً في هذا المجال في رفع الأمل في أن تسهم هذه التطبيقات في تطوير طرق التشخيص والعلاج، وانخفاض تكلفة الدواء، والتشخيص المبكر للأمراض من قبل إنتشارها. هذا وسيتبع ذلك الدراسات المرتبطة بسلامة استخدام تلك المواد والأجهزة النانوية على الإنسان حتى تتحول هذه التطبيقات إلى واقع يومي ملموس يهدف إلى رفاهية الإنسان وتقليل معاناته على سطح الأرض.



الشكل رقم (٤٨). أشكال جزيئات Dendrimers.