أ.د. عبدالستار محمد سلام

يعد إختراع المجهر ـ الميكروسكوب (microscope) ـ من أهم إنجازات العصر الحديث التي ساهمت في تطور العلوم ولايزال له تأثير عظيم في علوم الحياة والطب والصناعة ، فقد ساهم في أهم الإكتشافات التي أدت الي زيادة المعرفة حول أسرار تركيب وعمل الخلية والمواد الحية ، كما ساعد إلى حد كبير في التشخيص السليم للأمراض مما ساعد على وصف العلاج النافع، كما لايخفى دوره الكبير في الكشف عن أسرار عالم الكائنات والمكونات الدقيقة في علوم الحياة.

يستعرض هذا المقال تاريخ المجهر وتطوره ومزاياه وأنواعه المختلفة ، وكيفية الإبصار والملامح الرئيسة للمجاهر المختلفة وآلية عمل بعض أنواعها المختلفة.

تاريخ المجهر

شهد القرن الثاني قبل الميلاد بداية معرفة الإنسان للمجهر حينما قام **بطليموس إقليدس (Cldudius Ptolemy)** ـ فلكي شهير من الإسكندرية ـ بوصف انحناء عصا داخل الماء، وقياس زاوية إنكسار الضوء عند اختراقه لها وبالتالي أمكنه حساب معامل انكسار الماء، تلا ذلك في القرن الأول بعد الميلاد قيام **سينيكا (Seneca)**، بوصف تكبير الأشياء بواسطة كرة من الماء ، حيث قام بتدوين التالي " الحروف الصغيرة غير الواضحة تم رؤيتها مكبرة وأكثر وضوحاً خلال كرة من الزجاج مملؤة بالماء " . وفي الفترة من ٩٦٢م إلى ١٠٣٨م قام العالم العربي **الخازن (Alhazen)** ، بكتابة أول عمل رئيس يعد ذخيرة علمية في الضوء ، حيث ناقش ليس فقط أساسيات الضوء بل قام بوصف تشريح العين وكيف أن عدسة العين تقوم بتجميع الصورة على الشبكية.

وفي عام ١٢٦٧م قام **باكون (Bacon)** ، بكتابة وصف محدد للتكبير البسيط ذاكراً: " الأشياء الكبيرة يمكن تداركها بالعين وإذا كانت الحروف بالكتاب أو أي أجسام دقيقة يمكن النظر إليها من خلال قطعة صغيرة من كرة زجاجية أو بلورة كي تظهر مكبرة وأكثر تحسينا " .

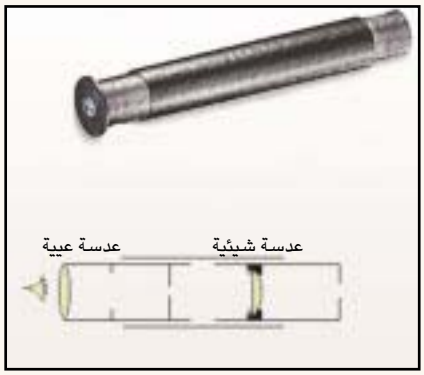
ويمكن القول أن هذه الجهود قد أعطت لمحات عن المعرفة الضوئية والرؤية في الماضي ، لكن المهم معرفة أن هذه الإيضاحات كانت محصورة بين العلماء والفلاسفة حتى تم إختراع النظارة (العويّنات) فيما بين ١٢٥٥م إلى ١٢٨٠، في مدينة فلورنسا بإيطاليا . وليس معلوماً على وجه التحديد من كان وراء إختراع النظارة ولكنها إنتشرت وشاع إستخدامها في هذه المدينة في فترة وجيزة.

وبإنتشار العوينات وخواصها التكبيرية بدأت دراسة علم البصريات والتعمق فيه أكاديمياً وبحثياً وقد ساهم ذلك في قيام البصريين الألمان بصناعة المقراب ـ تلكسوب(Telescope) ـ من عدة عدسات ، ثم بدأ التفكير في عمل المجهر وذلك بطريقة عكس عمل المقراب.

وهناك خطأ كبير في المعلومات حول مخترع المجهر ، حيث تذكر بعض المراجع الأمينة المحترمة بأن **جاليليو (Gallileo)** ، اخترع المجهر بعد إختراعه للمقراب ، لكن هذا غير صحيح لأن **جاليليو** لم يصنع أول مقراب له قبل حوالي عام ١٦٠٧م.

كذلك يظن كثير من الناس أن **لوينهوك (Leeuwenhoek)** ، هو أول من إخترع المجهر، وهذا أيضاً غير صحيح ، لأن مجهر **لوينهوك** كان بسيطاً جداً، وغير نقي لصناعته من مواد خام ، وتم تصنيعه بعد وقت طويل من صنع نماذج تم تداولها وإستخدامها في أكتشافات هامة مثل مجهر **مالبيجي (Malpighi)** ، والمجهر المركب **(Compound microscope)** ، الذي تم صنعه بواسطة **هوك (Hooke)** ١٦٦٥م .

وربما يرجع الفضل الأول لإختراع المجهر إلى العالم الهولندي **يانسين (Jansen)** ، عام ١٥٩٥م ، الذي قام بتصنيع وإنتاج مجهر تطابق مواصفاته المجهر



● مجهر يانسين.

الموجود الآن محفوظ في متحف **ميدل برج** (Middleburg) بهولندا .

قام **يانسين** بإرسال نسخه من المجهر إلى الأمير **موريس** (Prince Morice of Orange) ، ونسخة أخرى الى **ألبرت أرشيدوق** النمسا (Archduke Albert of Austria) ، وتم حفظ تلك النسخة حتي أوائل القرن السابع عشر ١٦٠٠م عندما قام الدبلوماسي الألماني **دريبل** (Drebbel)، بفحص المجهر وإعادة تصنيعه في شكل منمق يليق بالإستخدام الملكي حيث تم تصنيعه من ثلاث إسطوانات نحاسية منزلقة داخل بعضها يبلغ طولها عندما تكون تامة الفتح حوالي ٤٥ سم وقطر ٥ سم ، ويحتوي المجهر على عدستين وفتحتين من الجانبين ، وله قوة تكبير تتراوح بين ثلاث وتسع أضعاف.

بعد إختراع **يانسين** وخلال عدة سنوات كان هناك العديد من صانعي المجاهر عبر أوربا وزاد مستخدميها حيث كان على رأسهم **جاليليو** (Galileo). ورغم أنه كان ـ في ذلك الوقت ـ ينُظر إلى المجهر في المدارس على أنه لعبة متطورة خلال القرن السابع عشر إلا أنه كان أداة هامة في النشاط العلمي أنذاك ، حيث تم نشر عدة أوراق علمية عن المشاهدات خلال المجهر أهمها ورقتان علميتان عامي ١٦٦٠م و١٦٦٥م حيث تمكن **مالبيجي** (Malpighi) في الورقة الأولي من أثبات نظريات **هارفي** (Harbey) ، عن الدورة الدموية، بينما دوّن في الثانية كتاب (Hooke) المسمى (Micrographia).

● مجهر جالليو .

● مجهر مالبيجي .

شهد عام ١٦٦٥م قيام **روبرت هوك** (Robert Hooke) (١٦٣٥إلى١٧٠٣م)، بتصميم مجهر مركب (مكون من عدة عدسات) مع مجموعة الإضاءة ونظام التشغيل ، ويعد هذا المجهر ـ آنذاك ـ الأحسن ، فبواسطته استطاع مصممه أن يفحص الحشرات وريش الطيور ، وبرسم مشاهداته ويضعها في كتاب (Micrographia) .

الجدير بالذكر أن **هوك** أنفق حوالي ٢٠٠٠ جنيه أسترليني على تطوير مجهره المذكور حتى وصل إلى إمكانية فحص طبيعة الخلايا النباتية وجدرانها. وقد تزامنت عمليات تطوير **هوك** لمجهره مع رسالة **لوينهوك** ـ عام١٦٧٨م ـ إلي الجمعية الملكية بتقرير إكتشافاته المتمثلة في رؤيته لكائنات صغيرة "بكتيريا وبروتوزوا" بواسطة منظاره.

قام **هوك** بتأكيد مشاهدات **لوينهوك** بالمجهر المركب بنجاح ، وقال : "إن المجهر البسيط الذي إستخدمه **لوينهوك** أعطى صورة واضحة عن مجهره المركب ، ولكنه صعب الاستخدام (أي المجهر البسيط) ، لأنه يضعف الأبصار" ذاكراً أنه ضار بعينه .

كان للتقدم في نظريات الضوء فيما بعد الأثر الكبير في التغلب على مشاكل تكّون الصورة في المجاهر وخواصها من تباين (Contrast) ، وتكبير (Magnifcastion) ، وتشوه اللون والكري (Spherical and monochromatic aberrations) .

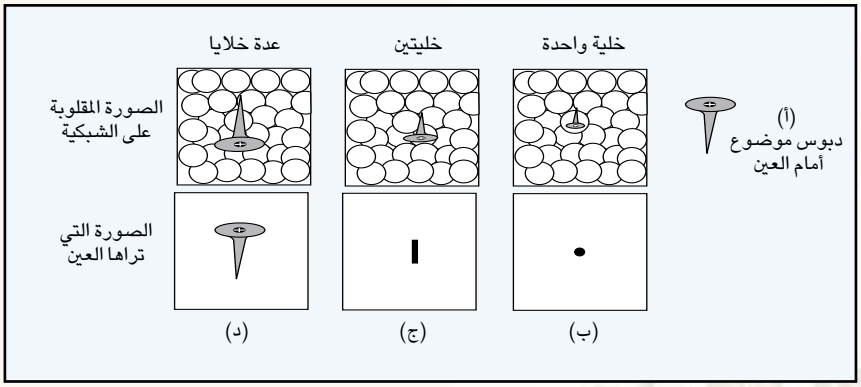
قام **روس ، سيركا** (Ross, Circa) عام ١٨٤٠م بتصميم عدسات شيئية متغيرة التكبير (المواجهة للشيء أو الجسم المراد رؤيته) للتغلب على التشوهات . وللتغلب على تلك المشاكل أمكن في الوقت الحالي وضع العدسة الواحدة في شكل مجموعة من العدسات .

الجدير بالذكر أن المجهر المركب التقليدي المستخدم الآن لم يختلف في فكرته عن مجهر **هوك** اللهم إلا في الشكل الجمالي والصناعة الدقيقة ، بالإضافة إلى التطور العلمي في تلافي عيوب العدسات والصورة ومجموعة الإضاءة وتقنية الصورة والتكبير وسهولة الاستخدام ، مما جعل استخدام المجهر في ـ وقتنا الحالي ـ في المعامل الدراسية والبحوث ومعامل علم الأمراض شائعاً مثل إستخدام جهاز قياس درجة الحرارة الطبي في العيادة .

حدة الإبصار والرؤية عند الإنسان

تتكون شبكية العين من عدة طبقات من الخلايا أولها خلايا مستقبلات الضوء (Photoreceptor Cells) مهمتها استقبال الضوء ، وتأتي بعض هذه الخلايا على شكل قضبان (rods) مسؤولة عن الرؤية أي الأبيض والأسود ، والبعض الآخر على شكل مخاريط (Cones) مسؤولة عن الرؤية اللونية. ويبلغ قطر هذه الخلايا في المتوسط حوالي ٥ ميكرومتر، وعندما

● مجهر هوك .



● شكل (١) صورة جسم دبوس على خلايا الشبكية .

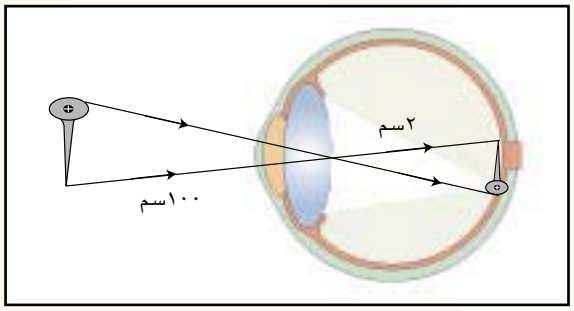
تكون الصورة المتكونة على الشبكية بهذا القدر من القطر فإنها سوف تقع على خلية واحدة وتصل إشارة كهربية إلى المخ من خلية واحدة فيرى الجسم على شكل نقطة دون أي تفاصيل ، أما إذا وقعت الصورة على أكثر من خلية فإن الإشارات المتعددة التي تصل إلى المخ من الخلايا المختلفة تتسبب في رؤية تفاصيل أكثر للجسم ، وهكذا.

ويوضح شكل (١) جسم على شكل دبوس (أ) موضوع أمام العين على مسافة ما ، وبفرض تكّون صورة له تقع علي خلية واحدة من الشبكية ـ الصورة (ب)ـ فإن العين سوف تراه على شكل نقطة دون أي تفاصيل ، وإذا تم تقريب الدبوس من العين بحيث تكون له صورة أكبر على الشبكية –صورة (ج)– فإن العين سوف تراه دون تفاصيل محددة ، أما إذا كانت الصورة مغطاة بعدد كبير من الخلايا فإن العين سوف ترى الجسم بكل تفاصيله كما في الصورة (د).

ومن الناحية العددية يبلغ قطر عين الإنسان البالغ السليم حوالي ٢ سم ، ولكي تتكون على شبكية العين صورة لجسم تغطي خلية واحدة قطرها ٠,٠٠٥مم فإن الجسم الموضوع على بعد متر واحد من العين يجب أن يكون طوله حسب حساب المثلثات، شكل (٢) ربع ملليمتر ، وبالتالي فلن تراه العين إلا نقطة غير واضحة ، ولكي تراه العين فإنه إما أن يقترب الجسم من العين حتى تتكون له صورة مكبرة ، ولكن غالباً ما يكون ذلك غير مرغوب فيه لأنه مع مرور الوقت سيحدث إجهاد للعين ، مما يؤدي إلى ضرر للعدسة والعضلات ، أما الطريقة الأخرى لرؤية الجسم بتفاصيله هو تكبير الجسم نفسه دون تقريبه من العين ، وهذا هو عمل المجهر البسيط للرؤية المباشرة والمجهر عموما للحصول على تسجيل فوتوغرافي.

وحسب قوانين الضوء لايمكن رؤية جسم دقيق طوله أصغر من طول موجة الضوء المستخدم أو المنعكس من الجسم ، أي أن التكبير ليس هو العامل الأساسي في الرؤية، ولكن الطول الموجي للضوء المستخدم في المجهر عامل آخر أهم ، لذلك تطور المجهر من الضوئي إلي ضوء الأشعة فوق البنفسجية ثم المجهر الإلكتروني ، أي أن قوة الفصل للمجهر (Resolving power-RP) ، تتناسب عكسياً مع طول موجة الضوء المستخدم في المجهر الإلكتروني.

لذلك فإن المجهر الإلكتروني يمكنه فصل نقطتين بوضوح المسافة بينها أقل آلاف المرات عما يمكن رؤيته بالمجهر



● شكل (٢) تكون الصورة على شبكية العين .

التقليدي الضوئي، وذلك بالمقارنة بين أطوال الموجات المستخدمة.

أنواع المجاهر

تختلف المجاهر بإختلاف التقنية المستخدمة فيها، ومنها ما يلي :

● المجهر الضوئي التقليدي

يمكن إستخدام المجهر الضوئي التقليدي (Conventional light microscope) لتكبير متعدد عن طريق تغيير قوة العدسة العينية أو العدسة الشيئية أو كليهما ، ويحدد التكبير الذي يمكن الحصول عليه بالطول الموجي للضوء المرئي المستخدم (٠,٤ إلى ٠,٧ ميكرون) ، وهذا يعني أن أصغر جسم يمكن رؤيته بوضوح يكون في حدود ثلاثة أرباع الميكرومتر تقريباً ، أما الأجسام الأصغرمن ذلك فلايمكن رؤية تفاصيلها مهما تم تكبيرها بهذا المجهر.

وحيث أن قطر خلايا الجسم تتراوح بين ٥ إلى ٥٠ ميكرومتر فإن هذا المجهر مناسب لرؤية وإيضاح الخلايا ، وربما تحديد بعض التراكيب الخلوية.

ومن عيوب هذا المجهر أنه إذا وضعت شريحة رقيقة من نسيج تحته فإنه لايمكن رؤية كثيراً من التفاصيل لأن معظم الخلايا شفافة ونفاذة لكل موجات الضوء المرئي ، مما يؤدي إلى ضعف أو عدم التباين (Contrast) بين الخلايا إلا في حالة خلية الدم الحمراء.

وللمقارنة بين الخلايا يجب زيادة التباين بصبغ الخلايا بمواد كيميائية تعمل على إمتصاص أطوال موجات معينة من الضوء المرئي ذات أطوال موجات محددة ، كما تستخدم هذه الصبغات لصبغ محتويات معينة من الخلية ، وذلك للتعرف على التراكيب الدقيقة.

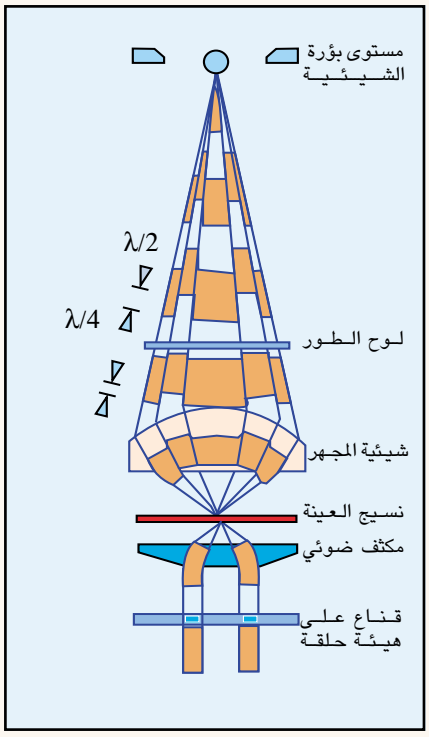
● مجهر طور التباين

يرجع الفضل ـ بعد الله ـ في تصميم مجهر طور التباين إلى العالم الهولندي **فريتس زيرنك** (Frits Zernike) الذي نجح عام ١٩٣٥م في اختراع طريقة يمكن بواسطتها تحويل التغير في طور الأشعة

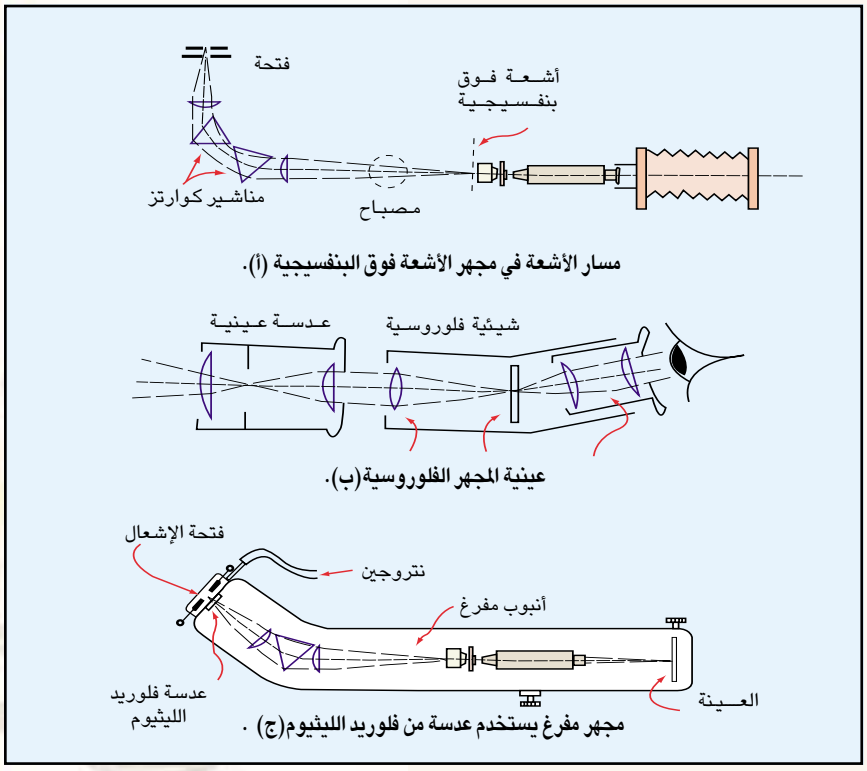
نتيجة مرورها في أوساط غير متجانسة شفافة ـ مثل الموجودة في الخلايا ـ إلى تغير في شدتها وبذا يمكن رؤيتها بالعين وقد أدى هذا الاكتشاف ـ استحق **زيرنك** عليه جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٥٣م ـ إلى معرفة الكثير من أسرار الخلايا الحية.

يؤدي إختلاف معاملات إنكسار الضوء بالنسبة للمكونات المختلفة للخلية إلى انتقال الضوء بسرعات مختلفة داخل أجزاء الخلية ، وبالتالي سيكون هناك إختلاف في طور موجات الضوء (phase changes) خلال الخلية. عليه فقد أدت هذه الظاهرة إلى التفكير في صناعة مايسمى مجهر طور التباين (phase- contrast microscope) ، الذي أمكن بواسطته رؤية تفاصيل ومكونات الخلية دون عمل صباغة، ولكن من عيوبها أنها تتسبب ـ في كثير من الأحيان ـ في تغيير كثير من خواص الخلية الفيزيائية وتؤدي في النهاية إلى بعض المشاهدات الكاذبة خاصة في القياسات الكمية.

يبين شكل (٣) مسار الأشعة داخل مجهر طور التباين، وهو يختلف عن المجهر الضوئي بأنه مزود بقناع على هيئة حلقة يوضح قبل المكثف الضوئي الغرض الأساسي منه إحداث تغير في طور الأشعة



● شكل (٣) مسار الأشعة داخل مجهر طور التباين .



● شكل (٤) مكونات الأنواع المختلفة من المجهر الوامض .

الساقطة على العينة والتي تزداد بعد مروره بها نتيجة لتراكيبها المختلفة. وعند مرور هذه الأشعة النافذة من العينة على لوح الطور يحدث بها تداخل يكون بعض منه بناء والآخر هدام، وبذلك يحدث تباين في العينة يمكن رؤية تراكيبها المختلفة.

● المجهر الوامض

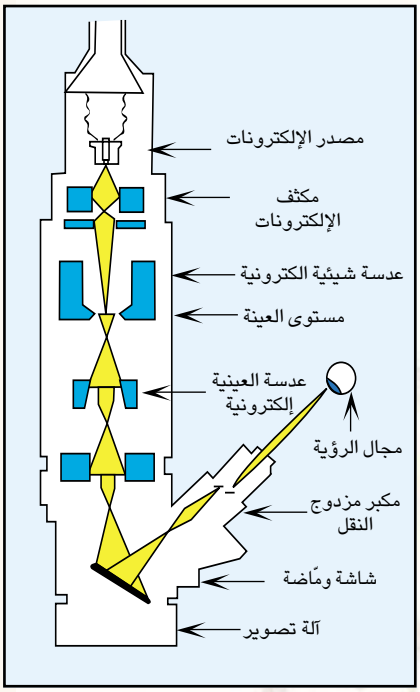
يستخدم المجهر الوامض (Fluorescent microscope) الأشعة فوق البنفسجية ، حيث تصبغ العينة المراد رؤيتها بمادة لها خاصية الوميض عندما تتعرض للأشعة فوق البنفسجية ، وتعد هذه الصبغات نافعة في تحديد أنواع الخلايا وتراكيبها المختلفة لأنها تمتص بدرجات متفاوتة وتشع ألوان مختلفة بشدات مختلفة حسب التركيب ونوع الخلية . وغالبا ما تسمى الخلايا بإسم الصبغة التي تتعرف عليها وتحددها، فعلى سبيل المثال فإن أحد أنواع خلايا الدم البيضاء أيوزينوفيل **(eosinophil)** ، لأنها تمتص صبغة الأيوزين **(eosin)** ، وهي صبغة وامضة.

ولتصوير الأنسجة بالمجهر الوامض تصبغ الأنسجة داخل جسم الإنسان الحي بصبغات غير ضارة ، على سبيل المثال من المعلوم أنه عندما يتناول المريض للمضاد الحيوي تتراسيكلين ، فإن جزءًا منه يتحد مع العظام النامية ، عليه فعند وضع عينة من العظام تحت المجهر الوامض فإن المناطق النامية دون غيرها سوف تعطي وميضاً أصفر أو برتقالي ، وهذا مفيد للتشخيص والعلاج ، ويوضح شكل (٤) مكونات أنواع مختلفة من المجهر الوامض.

● المجهر الإلكتروني

في عام ١٩٢٤م اكتشف **دبروجلي (De Broglie)** الطبيعة الموجية للإلكترونات هذا يعني إنه بالإضافة إلى أن الإلكترون له كتلة فإن له أيضاً خواص الموجات، وبالتالي استنتج أنه كلما زادت سرعة الإلكترون إنخفض طوله الموجي. بناءً على هذا الأكتشاف تم تصميم أول مجهر الكتروني عام ١٩٣٢م يعمل بالأشعة السينية منخفضة الطاقة بواسطة العالمان م. **نول (M. Knoll)** و **روسكا (E. Ruska)** من الجامعة التكنولوجية ببرلين.

وحيث أن هذه الأشعة تمتص بشده بالعناصر الثقيلة فإن الصورة الناتجة عن تعرض فلم حساس خلف ومجاور للنسيج المراد تصويره بالأشعة المذكورة سوف تحتوي على تفاصيل دقيقة حسب نوعية



● شكل (٥) مسار الشعاع الإلكتروني في المجهر النافذ.

وكمية العنصر الثقيل مثل الرصاص في الأنسجة المختلفة من الجسم، والكالسيوم في العظام وهكذا.

ومع تطور نظريات وتقنيات الفيزياء وصناعة أجهزة وأدوات ذات حساسية ودقة عالية تم التوصل إلى إمكانية تجميع حزمة الإلكترونات في بؤرة بواسطة عدسات إلكترونية وعدسات مغناطيسية على غرار ما تقوم به العدسة الزجاجية أو البلورة لأشعة الضوء، ومن ثم أمكن صناعة المجهر الإلكتروني (Electron microscope)، الذي أحدث طفرة وتقدم سريع في مناحي الحياة المختلفة، فعلى سبيل المثال تصل قوة تكبير الأنواع المتطورة من المجهر الإلكتروني إلى ٢٥٠ ألف مرة أو أكثر، وقوة فصل تصل إلى طول جزئي البروتين، وفي بعض الإحيان القطر الجزئي. وقد أمكن ليس فقط رؤية تفاصيل وتراكيب دقيقة، بل أمكن التوصل إلى إن الثقوب والقنوات وإنتقال الأيونات عبر غشاء الخلية أمكن التوصل اليها وبالتالي معرفة آلية عملها. وللمقارنة تصل قوة تكبير المجهر الضوئي إلى ألف مرة فقط، يمكن بواسطته رؤية جسم طوله حوالي ثلاثة أرباع المليميتر كأدنى حد.

الجدير بالذكر أن أول إستخدام للمجهر الإلكتروني تم بتصوير عينة بيولوجية لفيروس الدخان عام ١٩٤٥م في الولايات المتحدة الامريكية. ومنذ ذلك الحين تعددت استخدامات المجاهر الإلكترونية وتطورت في قدرتها على التكبير بواسطة زيادة سرعة الإلكترونات أي زيادة طاقتها بواسطة الجهد الكهربي والذي وصل قيمته الآن إلى أكثر من ثلاثة ملاين فولت.

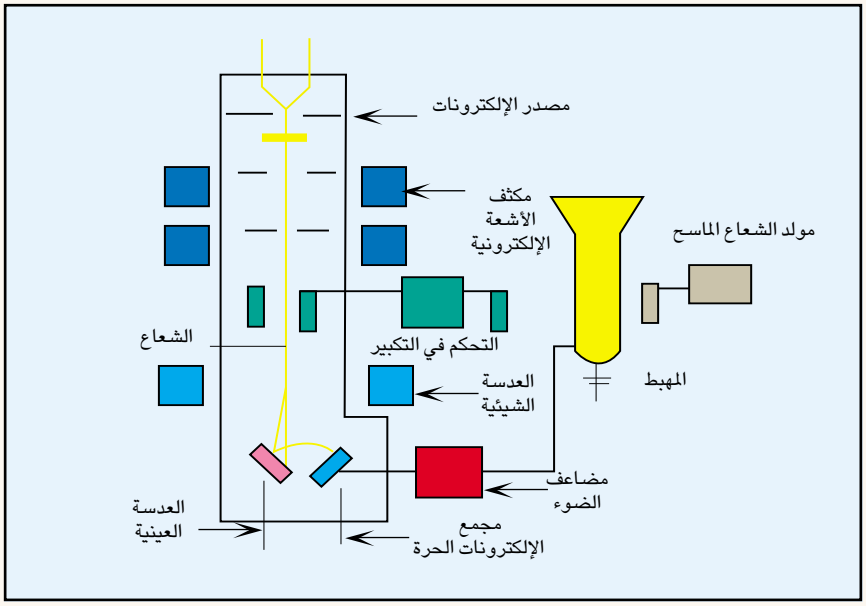
تنقسم المجاهر الالكترونية إلى قسمين رئيسين هما:

* **المجهر الالكتروني النافذ** (TEM)، ويعمل كما هو موضح بالشكل (٥) عن طريق تفريغ الهواء تماماً من الأنبوب. وتتولد الإلكترونات عن طريق فتيل مغطى بمهبط على شكل قلم. تسرع هذا الالكترونات بواسطة الجهد الكبير الذي يوضع على المصعد والذي بزيادته يقل الطول الموجي للإلكترونات ومن ثم تزيد قوة التحديد أو التبين (Resolving Power) والتي تصل الآن في المجاهر التي يطلق عليها مجاهر الجهد الفائقة من ٠,٢ إلى ٠,٣ نانو متر (٣×١٠^{-١٠} م). أي أن التكبير يمكن أن يصل إلى ٠,٣ مليون مرة.

تخرج الإلكترونات السريعة من المصعد عن طريق فتحة صغيرة جداً (وبذلك تماثل الأشعة الضوئية في المجهر الضوئي)، بعد ذلك يركز الشعاع الإلكتروني عن طريق

● مجهر الجهد الفائق.

المكثف الذي يمر في العينة ويخرج منها منحرفاً، ويعتمد هذا الإنحراف على كثافة الإلكترونات في العينة التي تزيد بزيادة كتل الذرات المكونة لها. وكلما زادت هذه الإنحرافات زاد تباين تركيبات العينة. وحيث أن العينات البيولوجية مكونة من ذرات الأكسجين، النيتروجين، الهيدروجين، الكربون قليلة الكثافة الإلكترونية فإن تباين الصورة ووضوحها



● شكل (٦) مسار الشعاع الإلكتروني في المجهر الماسح.