

Reviewمراجعه

الكشف عن الذرات المفردة باستعمال اشعة الليزر

منير حسن نايفه

جامعة الينوى دائرة الفيزياء  
أربانا ، الينوى الولايات المتحدة

لقد استعملنا اشعة الليزر النبضية ذات الشدة العالية جدا في استحداث طريقة دراسة الاطياف باستخدام التاين الرنيني والتي تفوق حساسيتها في الكشف عن التركيزات الذرية المتدنية بأكثر من عشرة بلايين مرة عن الطرق التقليدية . واستعملنا ايضا هذه الطريقة في الكشف عن الذرات المفردة من نوع معين والموجودة مع اعداد هائلة من الذرات الاخرى المختلفة . فقد نجحنا في الكشف عن ذرة واحدة مفردة من السيزيوم بالرغم من وجودها مع عشرة بلايين بلايين من ذرات الارجون وجزيئات المئين .

لقد ادت هذه المقدره الجديدة الهائلة في الكشف الى استحداث تطبيقات مثيرة ليس في الفيزياء الذرية فحسب بل في مواضيع متنوعة جدا تتضمن الاحياء ، الكيمياء ، الكونيات ، الفيزياء النووية ، وفيزياء الاجسام الاولى .

لقد طبقناها في دراسة تصادم الذرات واعطت حساسية فائقة في ايجاد التفاصيل الدقيقة للقوى بينها والتي لم يكن بالاستطاعة قياسها سابقا بالطرق التقليدية . كما انها فتحت المجال امام دراسات الحوادث النادرة والاساسية في فهم اسرار الطبيعة كالبحث عن جسم الكوارك والنيوترينو الشمسي .

لقد ادت هذه الطريقة ايضا الى تطبيقات تكنولوجية تتضمن القياس الحساس لتسربات الغازات والواد الضارة من المفاعلات الذرية ، ودراسة ملوثات الجو في المناطق الصناعية وغيرها .

التقنور الرنيني

رغم أن مفهوم عد وتحديد هوية الذرات المفردة هو أقدم من عصر ديمقروطيس اليوناني (٤٠٠ ق . م .) ، إلا أن وجود أجهزة كشف على درجة مناسبة من الحساسية لم يتوفر إلا بتوفير أجهزة الليزر ذات الاتساع الشريطي الضيق والطول الموجي المتغير . والتقدم الرئيسي الأول في هذا المضمار حدث في ١٩٧٥ عندما قام فيربانك الابن وهانش وشالو في جامعة ستانفورد بالكشف عن الصوديوم بتركيز ١٠٠ ذرة/سم<sup>٣</sup> وبذلك حسنوا حساسية الكشف بما يعادل سبعة مقادير . وتم ذلك

- باستثارة ذرات الصوديوم بشعاع ليزر مستمر في حالة رنين مع خط الصوديوم - د .
- وتم معرفة كثافة الصوديوم من الضوء المتشتت عن الاتجاه الامامي للشعاع المثير .
- وتعرف هذه الطريقة بالتفلور الرنيني (*Resonance Fluorescence*) .

التحليل الطيفي باستخدام التاين الرنيني (*Resonance Ionization Spectroscopy*)

وباستمرار تقليص عدد الذرات المنوى الكشف عنها ، تفقد طريقة التفلور الرنيني بعض حساسيتها وتصبح معقدة . غير ان طريقة التاين الرنيني التي احدثها العلماء هرس ، نايفة وينق تصح حساسة جدا في هذه المنطقة . وتعتمد هذه الطريقة على الامتصاص المشبع من المستوى الارضي متبوعا بوحدة او اكثر من خطوات الامتصاص المشبع الانتقائي (*Selective*) والتي تؤدى في النهاية الى التاين الانتقائي للذرة . ويبين شكل ١ مستويات الطاقة والانتقالات ذات العلاقة في عملية التاين باستخدام اثنين من الفوتونات . فالذرة في مستواها الارضي تستثار الى مستوى اعلى عندما تمتص فوتونا من شعاع الليزر عند طول موجي محدد . فقط عندما يحدث هذا الامتصاص الرنيني يستطيع فوتون آخر ازالة الالكترن نهائيا .

وبلاضافة الى الانتقاء الاضافي الذى يتحقق باستخدام عملية الامتصاص على مراحل ، فان التاين الرنيني يختلف عن التفلور الرنيني بطريقة اساسية . ففي طريقة التاين يتم الكشف بواسطة جسيمات ثقيلة (الكترونات او ايونات) التي يمكن التحكم بها بسهولة ، بينما يصعب التحكم بالفوتونات المتشتتة . وهذا يجعل بالامكان ازالة اثر التصادم بالجدران ، مما يؤدى الى تخفيض كبير للاشعاع الخلفي (*Background*) . زد على هذا انه في التفلور الرنيني يجب على الكشاف ان يرى زاوية مجسمة اقل من  $4\pi$  ط حتى يمكن تلافي الشعاع الرئيسي غير المتشتت بينما تصل فعالية الكشف الى ١٠٠ بالمئة في طريقة التاين الرنيني . هذا بلاضافة الى ان قياس عدد صغير من الالكترونات او الايونات عملية اسهل من حيث الكم والنوع من قياس عدد صغير من الفوتونات .

الكشف عن ذرة مفردة

يجب ان يستوفي شرطان عند الكشف عن ذرة مفردة (١) يجب على شعاع الليزر ان يحرر انتقائيا الكترونا واحدا من الذرة بفعالية تصل ١٠٠ بالمئة (٢) يجب الكشف عن الالكترن المحرر بفعالية ١٠٠ بالمئة ايضا . وتعتمد قدرة اليزر اللازمة لتحقيق الشرط الاول على صفات الذرة اى على مقطع الامتصاص والتاين وعلى المستويات ذات العلاقة .

التاين باستخدام اثنين من الفوتونات : لقد استعملنا ذرات عنصر السيزيوم في تجربتنا التي نجحت لأول مرة في الكشف عن الذرات المفردة . لقد استعملنا مستوى السيزيوم المثار ٧ - ب والذي يمكن اثارته من المستوى الارضي بواسطة اشعة ليزر ذات موجه طولها ٤٥٥٥ أنجستروم .

والجدير بالذكر أن هذه الاشعة المطلوبة لتجربتنا هي في متناول اشعة ليزر الاصبغة . بما أن الفوتونات عند ٤٥٥٥ أنجستروم تؤين هذا المستوى أيضا فان ليزر واحد فقط تلزم لعملية التاين من المستوى الارضي باستخدام اثنين من الفوتونات . ويبدأ ناتج التاين من المستوى الارضي بفوتونين معين . ويتم تحرير الكترون من كل ذرة مثارة في منطقة القدرة العالية فقط .

الكشف عن الالكترونات : ويتم الكشف عن الكترون مفرد باستخدام عداد تناسبي الكشاف (Proportional) كجهاز تضخيم غازي . ويملا العداد بغاز ب - ١٠ ( ٩٠ بالمئة ارجون + ١٠ مئين ) ويحفظ سلكه المركزي عند جهد ١٠٠٠ فولت . ويبين شكل ٢ الكشاف . ومبدأ عمله يوضحها شكل ٣ . والالكترون المحرر انتقائيا من الذرة المنوى الكشاف عنها يتسارع بواسطة المجال اللاخطي الصادر عن السلك المركزي للكشاف . ويولد الالكترون المتسارع مزيدا من الشحنات بسبب وجود غاز تحت ضغط مرتفع في الكشاف وبذلك يحدث التضخيم . ويجرى التحكم بكثافة السيزيوم في شعاع الليزر بواسطة التحكم بدرجة حرارة العينة ، وضغط الغاز في الكشاف ، والمسافة بين العينة وشعاع الليزر .

تشبع عملية التاين : لقد قمنا عمليا بقياس القدرة اللازمة لتشبع التاين الثنائي الفوتون . كما تم تحت الشرط السابق تحديد توزيع ارتفاع النبضات لمدى من عداد ذرات السيزيوم يقع بين ١٠.٢١<sup>٦</sup> ومن المعلومات المتوفرة عن عدد الالكترونات الناتجة في غاز ب - ١٠ عن استخدام المصادر المشعة ، امكن قياس عدد ذرات السيزيوم في كل توزيع .

تذبذب الكثافة : يمكن قياس التذبذب الاحصائي في عدد الذرات عندما يصبح عدد هذه الذرات صغيرا باستخدام عملية التاين الثنائي الفوتون . يبين شكل ٤ توزيع ارتفاع النبضات لمتوسط عدد ذرات يساوي ٦٧ ويوضح الشكل التذبذب الكبير في هذا التوزيع : ان عملية تحسس الذرات بواسطة نبضات الليزر يمثل تفريفا وتعبئة متتابعة لحجم صغير محاط عمليا بمصدر لانهاثي من الذرات الحرة . مثل هذه التذبذبات لم تسبق مشاهدتها ولكن امكن استنتاجها من مشاهدات عملية للحركة البروانية ولتشتت الضوء .

الكشف عن كثافات منخفضة جدا : يمكن تخفيض عدد ذرات السيزيوم المتفاعلة مع شعاع الليزر بحيث نحصل على نبضة تآين واحدة لكل ٢٠ أو أكثر من نبضات الليزر . والتوزيع الناتج لارتفاع نبضات التآين عند ضغط ٢٠٠ ملم زئبق للغاز يبينه شكل ٥ ، كما يبين الشكل وجه المقارنه مع توزيع الالكترونات الناتجة في الظاهرة الكهروضوئية بواسطة فوتونات من مصدر للضوء تحت البنفسجي غير مترابط وضعيف (كمصباح زئبق) عند اصطدامها بجدران الكشاف الداخلية . ان التوزيع الاخير هذا لا يتغير بتقليل شدة الضوء تحت البنفسجي مما يدل على انه توزيع لالالكترونات مفردة ، ان توزيع نبضات التآين الثنائي الفوتون مماثل لتوزيع الالكترون المفرد ، وبذلك نعتبره مثلا لذرة واحدة في شعاع الليزر . والتذبذبات في التوزيع المبينة في شكل ٥ وتعكس العد الاحصائي للكشاف التناسبي كما نتوقعها ، ولا تمثل اللاتحديد في عدد الذرات الكلي الذي يجرى قياسه . وبتكامل العدد الكلي للنبضات الناتجة فوق مستوى الضجيج ( *noise* ) الالكتروني العادي وضجيج الليزر الفجائي ( *transient* ) ، أمكن عد ٩٥ بالمئة من نبضات الذرة المفردة . وعند جميع الكثافات السابقة ، بما فيها الذرة المفردة ، اختلفت النبضات عندما تغير تردد الليزر عن المستوى الانتقائي لطاقة السيزيوم ، مما يدل على اننا نستطيع ان نحدد وجود ذرات السيزيوم حتى عندما تختلط مع عشرة بلايين بلايين (  $10^{19}$  ) من الذرات الاخرى .

#### الاحداث النادرة

ان الطريقة القادرة على الكشف عن ذرة واحدة في حضرة عشرة بلايين بلايين من الذرات المختلفة الاخرى تناسب بصورة فريدة للكشف عن احداث نادرة . ان عددا من العمليات الفيزيائية الهامة في الطبيعة ، والتي تحتوى على اسرار لفهم الكون وقوانين الطبيعة تعبر عن نفسها بتكوين اشكال نادرة مختلفة من الذرات . سنتكلم عن حالتين من هذه الحوادث النادرة .

الكوارك : احدى الحالات النادرة تتضمن الكوارك ، احد الجسيمات الاولية التي لم يتحقق الكشف عنها حتى الان اى برهان مقنع عن وجود الكوارك كجسيم محسوس . واذا التصق كوارك حر مشحون لنواة ذرة فان شحنة الكوارك الكسرية ( *fraciona* ) غير المحجوز تغير حتما من طيف الذرة . وباستخدام الكتروديناميكا الكم يمكن تحديد التغير في مستويات الذرة ، وهناك بعض التجارب قيد التحضير للكشف عن الكوارك باستخدام طريقة الكشف عن الذرات المفردة الحاملة للكوارك بين اعداد كبيرة من الذرات العادية الاخرى .

النيوترينو الشمسية : من الاحداث النادرة الاخرى الممكن دراستها هي تفاعل

نيوترينو الشمس مع الس-ه . وتنبعث هذه النيوتريونات نتيجة تفاعلات نووية في مركز الشمس، وقياس دفعها الواصل الى الارض يساعد في تحديد النموذج الصحيح لباطن الشمس . وانيوتريونات عديمة الكتلة وضعيفة التفاعل تحول على سبيل المثال نواة عنصر الثاليوم ٢٠٥ الى الرصاص ٢٠٥ ناتج في مستوى ١ لكل  $10^{17}$  او اقل، ومن الممكن استخدام طريقة الكشف عن الذرات المفردة في الكشف عن ذرات الرصاص النادرة هذه .

### دراسة التصادمات الذرية

لقد تمكن الدكتور نايفه من استخدام طريقة التاين الرنيني المشيع في القياس المطلق للإتساع التصادمي لخطوط الطيف عند الكثافات المنخفضة جدا للغاز حيث يصبح الامتصاص والتفلور ضعيفان جدا . وتقليديا كانت تجرى دراسة التشوهات الناتجة في الانتقالات الذرية نتيجة تصادم الذرات بذرات غازات غريبة ، والتي يمكن منها قياس القوى البين ذرية ، بواسطة الامتصاص والتفلور الفوتوني وفي هذه الدراسات يتوجب استعمال انابيب امتصاص عالية الحرارة لاستحداث امتصاص أو تفلور محسوس، ولكن هذه العينات الكثيفة لا تحدث اتساعا ذاتيا فحسب بل امتصاص بواسطة التجمعات الذرية كذلك فان الكثافات العالية للغازات الغريبة يمكن ان تحدث تصادما ثلاثي الجسم يحجب التركيب القمري (Satellite) الذي يمكن مشاهدته في التصادم الثنائي الجسم ففي الطريقة الجديدة فان كل حادثة امتصاص في نظام متصادم يجرى تحويلها الى زوج من الايونات بامتصاص فوتون آخر ، وبذلك فان قياس عددا صغيرا من الفوتونات الممتصا والمنبعث يتحتول الى الكشف الأكثر حساسية عن الالكترونات الحرة ، وهذه الحساسية الزائدة تسمح بقياس عينات قليلة الكثافة . وامكن تحقيق تخفيض في الكثافة المطلوبة بحوالي سبعة مقادير باستخدام مجمع بسيط للشحنات على شكل مكثف متوازي اللوحين .

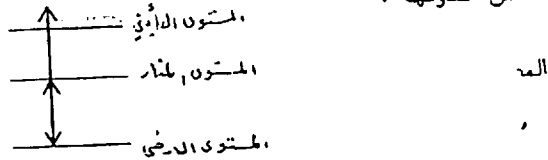
وامكن بتخفيض الكثافة هذا تحليل تركيب قمري جديد في تفاعل السيزيوم مع الارجون والذي لم يكن بالاستطاعة تحليله سابقا في قياسات الامتصاص عند الكثافات العالية . ويمكن حتى دراسة كثافات تصل الى بضعة ذرات / سم<sup>3</sup> او مسافات تصادم صغيرة جدا والتي تحدث عندها احداث امتصاص مفردة بواسطة عداد تناسبي حيث يمكن الكشف عن احداث امتصاص مفردة بهذه الطريقة .

تطبيقات أخرى

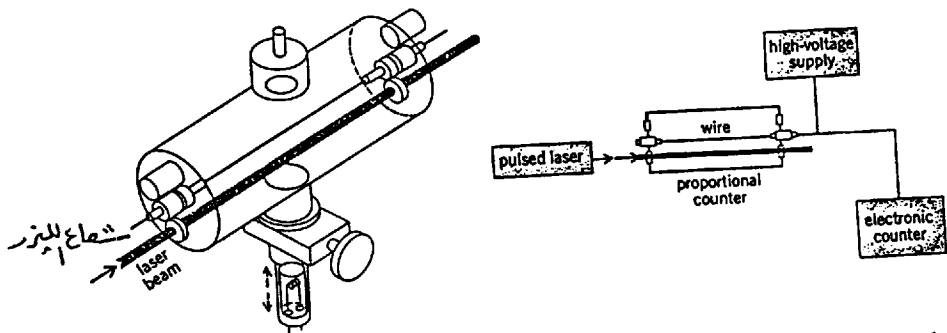
لقد أدت هذه الطريقة الجديدة الى تطبيقات تكنولوجية تتضمن القياس الحساس

لتسريبات الغازات والمواد الضارة من المفاعلات الذرية ، ودراسة ملوثات الجو في المناطق الصناعية . ففي مجال التلوثات الجوية ، تقليديا استخدمت احدى طرق ثلاث : الامتصاص ، التفلور الرنيني أو القياس الضوئي - الصوتي . والجدير بالذكر ان امكانيات هذه الطرق الثلاث محدودة لدرجة انه اذا ما أريد الكشف عن نسبة بمقدار ١٠ الى ١٠٠ قسم من ترليون ، فانه يتوجب استخدام عينة طولها على الاقل ١ كم وذات ضغط جوى ، أو بالاحرى عمل قياس الامتصاص في الجو نفسه . وطبعا هذا لا يحدد موقع التلوث بدقة أقل من ١ كم . بالإضافة الى هذه المشكلة فان وجود الملوثات تحت الضغط الجوى يؤدي الى الكثير من التصادمات الذرية معها مما يوسع مجال امتصاصها لدرجة تفقدتها الجزء الكبير من حساسيتها . وعلى العكس من ذلك فان طريقة التحليل الطيفي باستخدام التاين الرنيني تزيد الحساسية لدرجة كبيرة مما يؤدي الى عدم احتياج عينة ذات طول كبير وذات ضغط جوى أو ما يقاربه ، ولذلك بالامكان عمل الفحص في المختبر باستعمال عينات صغيرة تؤخذ من مواقع محددة الى أقل من عدة سنتمترات وتحت ضغط قليل جدا .

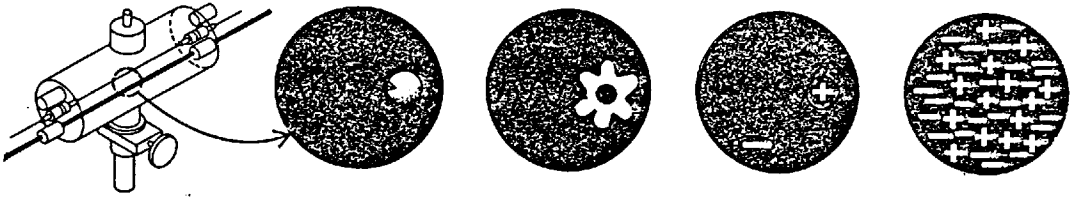
هذا ومن الطبيعي أن تزداد أهمية التحليل التايني الرنيني عندما يكون الغرض منه هو ايجاد مواقع ونوعيات التسريبات حول المفاعلات الذرية وخصوصا في مرحلة متقدمة من حدوثها .



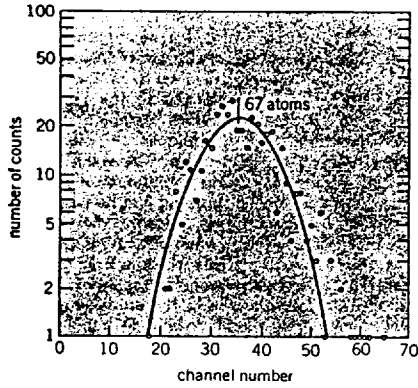
شكل ١ : المستويات الذرية المستعملة في التحليل الطيفي بالتاين الرنيني في حالة عملية ثنائي الفوتون . الاسهم تدل على الانتقالات الذرية المهمة في العملية .



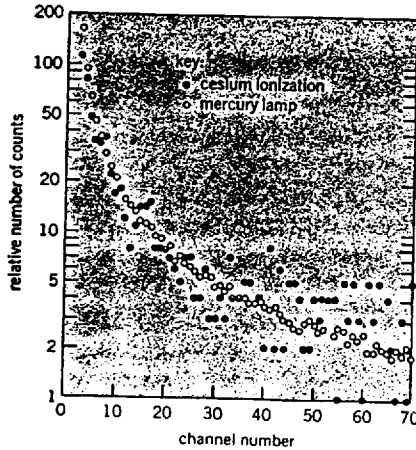
شكل ٢ : الكشف للذرات المفردة . (١) العداد التناسبي (ب) العداد مع الاجهزة اللاسلكية المستعملة



نفس ٣ : الخطوات في عملية كشف الذرات المفردة . ١ . تمتص الذرة فوتون وهي في مستواها الارضي . ب) تمتص الذرة المثاره فوتونا اخرًا . ج) يخرج الكترولون حر (شحنة سالبة) من الذرة ، تاركًا الذرة بشحنة موجبة . د) يسبب الالكترولون الحر مزيدًا من الشحنات عند تصادمه مع جزيئات الغاز في الكشاف



شكل ٤ : توزيع ارتفاع النبضات لمتوسط عدد ذرات يساوي ٦٧ مبيئة التذبذب الكبير في الكثافة الذرية .



شكل ٥ : توزيع ارتفاع النبضات من ذرات السيزيوم المفردة مقارنة بتوزيع ارتفاع النبضات للالكترولونات المفردة التي انتجت باستعمال مصباح الزئبق الضعيف جدا .

## REFERENCES

GLAB, W. and NAYFEH M. II. (1983) . Three - photon exitution of hydrogen Rydberg states. Optics Litters 8,30 .

HURST, G. S., and NAYFEH, and Younh, J. P. (1977) . One - Atom detection using resonance ionization spectroscopy . Physical Review A 15 , 2283 .

NAYFEH. M. H. (1979) . Laser detection of single stoms anb applications . The American Scientist 67 , 204 .

NAYFEH , M. M. (1979) . Atom . In : Yearbook of Science and Tecnology . Mecraw - Hill .

NAYFEH , M. H. ( 1980 ). Resonance innization spectroscopy of atoms and molecules . SPTE Journal Optical Engineering 19 , 057.



## تقديم

## الدكتور منير حسن نايفة

في هذه الزاوية سوف نقدم لكم نبذة عن سيرة أحد علمائنا المميزين في المغترب . ومع أنه يعز علينا أن لا نجد أمثال الزميل الدكتور نايفة بين صفوفنا لخدمة جامعات الضفة الناشئة . إلا أن قناعتنا راسخة بأن ايمان زملائنا في المهجر قوى وثابت وبأنهم يعملون جهدهم لمساعدة أمتهم ، ولعل تادية الرسالة لا تتحدد بالمكان فقط وانما بالولا' اولا وأخيرا . ومن معرفتي بالدكتور نايفة لفترة تزيد عن أكثر من ثلاث سنوات فقد كنت أجد فيه الزميل المثابر والحيوى ولنا أمل في أن يستمر عطاؤه ولكن ربما بتوجه أكبر نحو خدمة جامعاتنا في الوطن .

ولد الدكتور منير سنة ١٩٤٥ في قرية شويكة/ قضاء طولكرم وقد أكمل دراسته الابتدائية والثانوية في مدارس الضفة الغربية . حصل على درجة البكالوريوس من الجامعة الامريكية في بيروت سنة ١٩٦٨ حيث كان قد حصل على منحة دراسية على حساب وكالة الانماء الدولية الاميركية . وفي عام ١٩٧٠ حصل على الماجستير في الفيزياء من نفس الجامعة .

التحق الدكتور نايفة عام ١٩٧٠ بجامعة ستانفورد - كاليفورنيا كمساعد باحث حيث حصل على الدكتوراة في الفيزياء الذرية والجزئية عام ١٩٧٤ . في الفترة ١٩٧٤ - ١٩٧٧ شغل الدكتور نايفة وظيفة فيزيائي باحث في مختبر اوك - ريج Oak Ridge القومي وبعد ذلك عمل كباحث مشارك في جامعة ييل Yale الامريكية . وفي سنة ١٩٧٩ التحق الدكتور نايفة كأستاذ مساعد في جامعة الينوى وهو يعمل هناك حتى الان ويحمل رتبة أستاذ مشارك . بالإضافة لهذا فقد عين الدكتور نايفة كمستشار في مختبر أرغون - القومي .

ان حقل اختصاص الدكتور نايفة في الفيزياء الذرية والجزئية (نظري وعملي) ودراسة الاطيف باستخدام اللازر يشمل دراسة تحليل الاطيف الذرية الدقيقة ، والضوء المترايط والكمي ، سريان اللزر الرنيني في الاوساط الذرية والكشف عن الذرات والجزيئات في مستوى التركيز المتدنية ودراسة التصادمات الذرية والايونية والالكترونية .

لعل اهم ما عمله الدكتور نايفة كان ما طوره هو وزملاءه باحثين لطريقة التاين الرنيني والهامة جدا في دراسة الاطيف والتي تركز على استخدام اشعة اللزر التابعة

ذى الطاقة العالية وذات الطول الموجي المتغير وتوفر هذه الطريقة المستحدثة حماسية في الكشف هائله ومميزة - تزيد بما لا يقل عن مئة مليون الى عشرة بلايين مقارنة بالطريقة التقليدية في الامتصاص والتفلور .

وباستخدام هذه الطريقة الحديثة تمكن الدكتور نايفة وزملائه من الوصول الى حد النهائية في الكشف التحليلي ، حيث امكن الكشف عن ذرة واحدة معينة في تجمع ذرى كبير جدا فيه ما لا يقل عن عشرة بلايين بليون ( ١٠<sup>١٠</sup> ذرة ) من انواع اخرى من الذرات وجزيئات .

سوف نقدم عرضا موجزا لهذا الاكتشاف الهام لنعرض فيه مميزات البحث نفسه بالاضافة الى مميزات الباحث . ولقد كان لذلك الاكتشاف تأثير آخر هام بحيث قامت العديد من المجالات العلمية والهندسية بالتنبؤيه بذلك الانجاز العلمي . والاشارة اليه . وقد دعي الدكتور نايفة وما زال للكثير من الندوات لشرح هذا الاكتشاف

ان ما يميز الدكتور نايفة هو غزارة الانتاج فقد نشر اكثر من ٥٥ مقالة منذ عام ١٩٧٤ بالاضافة الى حضوره لاكثر من ٨٠ مؤتمرا علميا . وفوق هذا فقد اشترك في تأليف كتاب في الكهرباء والمغناطيسية لمستوى السنة الثالثة الجامعية لطلبة العلوم والهندسة . وقد تم نشر الكتاب عام ١٩٨٥ بواسطة شركة النشر المعروفة جون ويلي . وفي عام ١٩٨٥ ايضا اشترك في صياغة حيثيات مؤتمر علمي عقد عام ١٩٨٤ في واشنطن حيث اعتبر ذلك المرجح احد افضل كتب عام ١٩٨٥ في الفيزياء ولعله تقديرا مناسباً لانجازاته قد تم وضع اسم الدكتور نايفة مع نبذه عن حياته في موسوعة مشاهير العلم الامريكية .

لقد انتدب الدكتور نايفة للقيام بمهمات لانشاء وتوثيق التعاون العلمي والتكنولوجي بين جامعة الينوى والجامعات العربية . وقد قام منذ عام ١٩٧٨ بعدة زيارات للعديد من الجامعات العربية . وقام بتمهيد عقد اتفاقيات تعاون بين كل من جامعة اليرموك والاردنية والينوى .

كلمة اخيرة ، لقد كان الدكتور نايفة زميلا فعلا طوال السنوات الماضية ولعله احد الذين يعملون بصمت ، ولعل اهم ما يميز الاخ منير نايفة كان قدرته الدائمة على ان يكون ذلك الفيلسوفي البسيط والمؤمن ، والملتزم . املنا قوى طبعا انه سوف يبذل جهده للمشاركة في نهضة جامعاتنا هنا .

نامل ان نستطيع تكرار هذا التقديم لزميل مخترب آخر في الاعداد القادمة .