وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة القادسية – كلية التربية

قسم الفيزياء

الميزرات الكونية

بحث تقدم به الطالبان

منتظر موسى سلمان & ايهاب علي بعير

الى مجلس قسم الفيزياء كلية التربية جامعة القادسية

وهو جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علوم الفيزياء

بأشراف

م.د حيدر كامل حنون

١٤٣٩هـ

٢٠١٧م

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ اقرأ باسم ربك الذي خلق ۞خلق الانسان من علق۞ اقرا

و ربك الاكرم ۞الذي علم بالقلم ۞علم الانسان ما لم يعلم۞ ﴾

صدق الله العلي العظيم

شكر وتقدير

لابد لنا و نحن نخطو خطواتنا الاخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود الى اعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع اساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين جهوداً كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الامه من جديد ....

وقبل ان نمضي نقدم اسمى أيات الشكر و الامتنان والتقدير و المحبة الى الذين حملوا اقدس رسالة في الحياة ...

الى الذين مهدوا لنا طريق العلم و المعرفة ...

الى جميع اساتذتنا الافاضل ونخص بالشكر والتقدير الدكتور حيدر كامل حنون الذي ساعدنا على اتمام هذا البحث و قدم لنا العون و مد لنا يد المساعدة و زودنا بالمعلومات اللازمة لأتمام هذا البحث

الاهداء

الى ينبوع العطاء الذي زرع في نفسي الطموح و المثابرة ...والدي العزيز

الى نبع الحياة الصافي ... أمي العزيزة

الى من يحملون في عيونهم ذكريات طفولتي و شبابي ... أخوتي وأخواتي

الى محبي العلم و المعرفة ... أساتذتي الافاضل

الفهرست

الموضوع ..... الصفحة

الفصل الاول

المقدمة ١

الميزر..... ٢

تاريخ الميزر ٢

ميزرات في السماء ٣

عملية التضخيم اسهل في الفضاء ٥

فيزياء الانبعاث المستحث ٧

الفصل الثاني

تزودنا الميزرات بمعلومات مفيدة ٩

مقياس فلكي للمسافات ١٢

رؤية من بعد ١٥

المصادر ١٦

الخلاصة

يمكن تلخيص البحث بما ياتي:

١. يمكن تعريف الميزر بانه تضخيم الموجات الدقيقة بواسطة الانبعاث القسري للأشعة.
٢. في العام ١٩١٧ أعلن آينشتاين فكرة انبعاث الضوء بشكل قسري من الذرة ، خلافاً لمقولة الانبعاث العفوي المعروفة من قبل.وفي عام ١٩٥١ أطلق العالم تونز فكرة المايزر كمصدر للموجات المليمترية و ثم تبعه العالم فيبر عام ١٩٥٣ بشرح تفصيلي للموضوع نفسه . ثم في عام ١٩٥٤ تم تصنيع أول مايزر في جامعة كولومبيا على يد العالم غوردن والعالم زيجر والعالم تونز.
٣. ثم بدا مفهوم الميزرات الفضائية يتبلور اذ اكتشف العلماء بان السحب الغازية البَيْنَجْمِية (ما بين النجوم) تولِّد موجات مكروية مترابطة ومركزة. ويوفِّر لنا هذا الإشعاع لمحة عن حجم بعض الأجرام ويوفر لنا هذا الإشعاع لمحة عن حجم بعض الأجرام ومحتواها وبُعْدها، ولولاه لكان من الجائز أن تبقى هذه الأجرام خفيّة.
٤. تولِّد الميزراتُ والليزرات المخبرية التوزع المعكوس، عادة، بتنقيل الذرات أو الجزيئات بين ثلاث حالات طاقية: الحالة الدنيا المستقرة (وهي المشغولة بأغلب الذرات)، وحالةٍ طاقية عُلْيا من تلك وقصيرة العمر، وحالة متوسطة بينهما، عمرها أطول، وإليها تؤول الحالة العُلْيا.
٥. وقد اكتشف علماء الفلك الراديوي، منذ تلك الأرصاد المبكِّرة، إصدارات ميزرية آتية من كثير من الجزيئات البينجمية المختلفة، منها بخار الماء وأحادي أكسيد السيليكون (السيليسيوم) والميثانول، وحتى ذرة الهيدروجين (وهو مادة وفْرَتُها في الكون أكبر من غيرها بكثير.) هذا، وتظهر الميزرات في تشكيلة متنوعة من المصادر الفلكية، تتدرج من المُذَنَّبات إلى المجرات.
٦. يوفر الإشعاع المضخم للراصدين رؤية للأجرام الفلكية تختلف بشدة عن الصورة التي يقدمها الإشعاع غير المضخم. وأهم سِمَتَيْن مُميِّزتين له هما :السطوع الشديد والحيز الصغير.
٧. لقد استنبط علماء الفلك الراديوي طرائق لضم الإشارات الآتية من المقاريب الراديوية المنتشرة في أرجاء العالم، فصنعوا بذلك فتحة aperture فعّالة قطرها ٨٠٠٠ ميل.
٨. يستطيع الفلكيون قياس الحيز الزاوي للجرم بدقة رائعة ، ولكنهم نادرا ما يستطيعون تعيين الحيز الخطي المرتبط به. وفي الحالات النادرة التي يقاس فيها كل من هذين الحيزين، تُعيَّن مباشرة المسافة إلى المصدر: فهي ببساطة نسبة الحيز الخطي إلى الحيز الزاوي.

الفصل الاول

١- المقدمة

تم تناول موضوع الميزرات في هذا البحث لما لهذا الموضوع من اهمية قصوى في حياتنا العملية لاسيما في موضوع الفلك الراديوي ومستلمات الرادارات على سبيل المثال.

اذ يبدا البحث بتعريف الميزر ثم التطرق الى تاريخ الميزر وكيف تم اكتشافه واهم الرواد من العلماء الذين خاضوا في هذا الموضوع واولى التجارب في هذا الموضوع ، اذ يتطرق البحث الى انتاج الميزرات المخبرية ، كما ركز البحث على موضوع الميزرات الفضائية وكيفية تكون هذه الموجات وكيفية تضخمها ثم يتطرق البحث الى موضوع الانبعاث المستحث وهو الاساس العملي لعمل الميزرات ثم يتطرق البحث الى الفائدة العظيمة للميزرات لاسيما في رصد المجرات والنجوم البعيدة التي لا يمكن للاشعاع العادي غير المضخم من رصدها ، كما يتطرق البحث الى ميزر الهيدروكسيل بصورة مفصلة وامكانية قياس المسافات الفلكية الكبيرة والتي تقدر بعشرات الملايين من السنوات الضوئية بدقة كبيرة نظرا لاستعمال انواع مماثلة من الميزرات.

٢- الميزر

الميزر (بالإنجليزية: Maser إختصاراً لـ Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) أي تضخيم الموجات الدقيقة بواسطة الانبعاث القسري للأشعة. والواقع انه لا فرق بين الليزر والمايزر من حيث المبدأ، إلا أن كلا منهما يعمل في حقل موجات يختلف عن حقل موجات الآخر. فالمايزر يستعمل كمضخم للموجات الدقيقة المستعملة في الرادار والاتصالات الفضائية الخارجية؛ ذلك نظراً لضعف التشويش فيه، بينما يستعمل الليزر في حقل الموجات الضوئية المرئية القريبة منها.

تاريخ الميزر

في العام ١٩١٧ أعلن آينشتاين فكرة انبعاث الضوء بشكل قسري من الذرة ، خلافاً لمقولة الانبعاث العفوي المعروفة من قبل.وفي عام ١٩٥١ أطلق العالم تونز فكرة المايزر كمصدر للموجات المليمترية و ثم تبعه العالم فيبر عام ١٩٥٣ بشرح تفصيلي للموضوع نفسه[١] . ثم في عام ١٩٥٤ تم تصنيع أول مايزر في جامعة كولومبيا على يد العالم غوردن والعالم زيجر والعالم تونز. ويتكون من مذبذب جزيئي و مضخم جزيئي اعتمد مبدأ انتقال الترددات في مادة الامونياك . وفي عام ١٩٥٦ اقترح العالم بلومبرغن إنشاء مايزر من مادة صلبة يعمل بصورة مستمرة ، وقد سهلت طريقة إثارة الذرات التي اقترحها العالمان نيكولاي باسوف، و الكسندر بروخوروف تعبئة مستويات الطاقة العالية بشكل مستمر ، وتحقق ذلك مخبرياً علي يد العالم سكوفيل، والعالم فيهر، والعالم سايدل الذين ابتكروا أول مضخم للموجات استناداً إلي نظرية بلومبرغن . وتلا هذا الإنجاز نظريات خاصة بمايزر الموجات الدقيقة. وبدءاً بسنة ١٩٥٧ إلي سنة ١٩٥٨ كانت الاختبارات المتتالية متطابقة مع النظريات السابقة تمام التطابق.وفي نهايات ١٩٥٨ اعتبر المايزر ابتكاراً معروفاً حيث استعمل في الرادار والراديو.

العالم تاونز تشارلز هارد (1915) م فيزيائي أمريكي وضع في عام ١٩٥١م الأسس الرئيسية التي أفضت إلى اختراع أداة الميزر. والميزر أداة تستخدم طاقة الجزيئات أو الذرات لتضخيم الموجات الراديوية. ساهم تاونز وطلابه في بناء أول أداة ميزر في سنة ١٩٥٣م. في جامعة كولومبيا ولقد استخدم في هذا المشروع. التوزيع العكسي (الشعبيه المعكوسه) بين اثنين من المستويات الجزئيه للامونيا . وذالك لتكبير اشعة ترددها يساوي ٢٣,٨٧ MHz وبطول موجي ١,٢٥ cm تقريبا. اما مخطط الاثارة البصريه للميزر قد اقترح عام ١٩٥٥ من قبل BASOV و Prokhorov في الاتحاد السوفيتي . ومن قبل Bloebergen في الولايات المتحده،وفي ان واحد وبصورة مستقلة . وقد صممت في حدود ١٩٥٧ العديد من ميزرات الحالة الصلبة ذات الثلاثة مستويات. فاز

تاونز في سنة ١٩٦٤م مع اثنين من العلماء الروس بجائزة نوبل للفيزياء نتيجة لجهودهم في اختراع وتطوير أداة الميزر. وُلد تاونز في مدينة كرين فيل الواقعة في ولاية كارولينا الجنوبية بالولايات المتحدة الأمريكية. ودرَّس بجامعة كولومبيا في نيويورك بين عامي ١٩٤٨ و١٩٦١م. ثم أصبح أستاذًا ومسؤولاً عن معهد ماساشوسيتس التكنولوجي، ثم عمل أستاذًا في جامعة بيركلي بكاليفورنيا بين عامي ١٩٦٧ و١٩٨٦م. وقد صممت العديد من الميزرات لاستخدامات تطبيقية في علوم الفلك الراديوي وكوحدات في مستلمات الرادار . وكانت معظمها من نوع الياقوت وكانت بمثابة مضخمات متقدمه في منظومات صممت لاستلام وتقوية اشارات ضعيفه جدا.

٣-ميزرات في السماء

تولد السحب الغازية البين نجمية (ما بين النجوم) موجات مايكروية مترابطة ومركزة. ويوفِّر لنا هذا الإشعاع لمحة عن حجم بعض الأجرام ومحتواها وبُعْدها، ولولاه لكان من الجائز أن تبقى هذه الأجرام خفيّة.

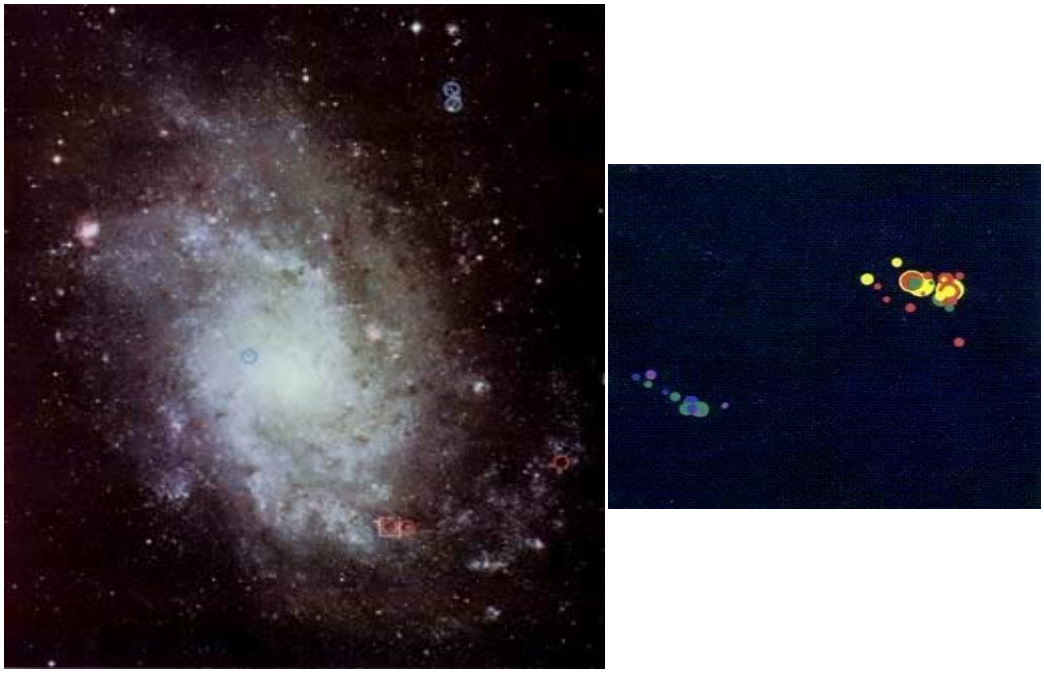
بدأ علماء الفلك الراديوي radio astronomers منذ ثلاثة عقود يكتشفون إشارات لا تشبه أيّ إشارات توقعوا رؤيتها في أيّما وقت. ففي عام ١٩٦٣ اكتشف فريق يقوده. H .A من معهد ماساتشوستس للتقانة MIT) (إشارات راديوية آتية من سحب من الجزيئات المثارة في الفضاء البَينَجْمي . interstellar [٢] وكان كثير من الفيزيائيين الفلكيين يعتقدون أن السحب الجزيئية لا يمكن أن تتكوّن في المناطق البينجمية.. غير أن ما وجده ذلك الفريق كان أيضا شاذا لسببٍ آخر.. فالجُزيء الأول الذي اكتشفوه، وهو جذر(شق) الهدروكسيل OH ، كان يُصْدر إشعاعا بَدَتْ أنماطه مناقضة لقواعد الفيزياء الإحصائية: فطيف خطوط الإشعاع الذي يجب أن يكون شديدا كان ضعيفا، والعكس بالعكس. فالجزيء الأول الذي اكتشفوه ، وهو جذر الهدروكسيل أوهايو ، كان يصدر إشعاعا بدت أنماطه مناقضة لقواعد الفيزياء الإحصائية : فطيف خطوط الإشعاع الذي يجب أن يكون شديدا كان ضعيفا ، والعكس بالعكس[٣].

وفي عام ١٩٦٥ اكتشف فريق يرأسه. H .F > وفي عام ١٩٦٥ اكتشف فريق يرأسه <واو. حاء. ويڤرد، من جامعة كاليفورنيا في بركلي، إشعاعا له خواص هي من الغرابة بحيث أطلقوا على المادة التي ينبعث منها اسم مِسْتِرْيوم mysterium أي الغامضة، لافتقارهم إلى تفسير واضح. فقد كانت الموجات المكروية التي وجدوها ساطعة bright بصورة غير عادية، وغطى كل خط من خطوط طيف الانبعاث مدى ضيقا جدا من الأطوال الموجية (على عكس الذرا (القمم) العريضة التي لاحظها الباحثون في مصادر أخرى.) وكان الإشعاع كله تقريبا مستقطبا في اتجاه واحد، مع أن الضوء والموجات الراديوية المنبعثة عن مصادر فلكية تتكون عموما من فوتونات كل منها مستقطَب عشوائيا في اتجاه مختلف. [٤]

ومع ذلك لم يمض وقت طويل حتى أدرك الباحثون أن إشعاع "المستريوم" لم يكن إشارة لجزيء جديد، بل انبعاث ميزري من الهدروكسيل البينجمي. (اختُرعت الميزرات عام ١٩٥٣، وهي سَلَف الليزر الشائع الآن، وكلمة ميزر maser مكونة من الحروف الأولى للكلمات microwave amplification by stimulated emission of radiationأي: تضخيم الموجات المكروية عن طريق الإشعاع المستحث" المحرَّض. لقد كان العرض الضيق لخط الطيف واستقطابُه سِمَتَيْن مميِّزتين للميزرات؛ إذ ما كان ليبلغ مثل هذه الشدة غير مصدر بينجمي مضخَّم. وكان. A > وكان (ألف. آينشتاين <قد وضع تقريبا مخططا للآلية الفيزيائية للإشعاع المستحث في عام ١٩١٧، إلا أن صُنْع أجهزة تستطيع استخدام هذه الظاهرة للتضخيم، كان صعبا جدا. آينشتاين) قد وضع تقريبا مخططا للآلية الفيزيائية للإشعاع المستحث في عام ١٩١٧ ، إلا أن صنع أجهزة تستطيع استخدام هذه الظاهرة للتضخيم ، كان صعبا جدا. وفي عام ١٩٦٤ فاز. H .Ch > وفي عام ١٩٦٤ فاز (ح. ش. تاونز < بحصة من جائزة نوبل للفيزياء لاختراعه الميزر في المختبر.

وقد اكتشف علماء الفلك الراديوي، منذ تلك الأرصاد المبكِّرة، إصدارات ميزرية آتية من كثير من الجزيئات البينجمية المختلفة، منها بخار الماء وأحادي أكسيد السيليكون (السيليسيوم) والميثانول، وحتى ذرة الهيدروجين (وهو مادة وفْرَتُها في الكون أكبر من غيرها بكثير.) هذا، وتظهر الميزرات في تشكيلة متنوعة من المصادر الفلكية، تتدرج من المُذَنَّبات إلى المجرات. (٥)

يوفِّر إشعاع الميزرات الفلكية ـ عندما يُرصد بالمقاريب الراديوية الحديثة التي لها مقدرة على مَيْزِ resolutionخطوط الطيف لم يسبق لها مثيل ـ معلومات عن مصدر هذه الميزرات يتعذر الحصول عليها من دون هذا الإشعاع. ولا تتكون الميزرات إلاّ في ظروف معينة، لذا يستطيع الفلكيون استنتاج سجلٍّ مفصل لبيانات عن الضغط ودرجة الحرارة وسرعة الغاز. فضلا عن ذلك إلى كون الميزرات صغيرة جدا وشديدة السطوع ، أنها توفر علامات للبنية ذات الأبعاد الأصغر التي يستحيل رصدها بغير ذلك.

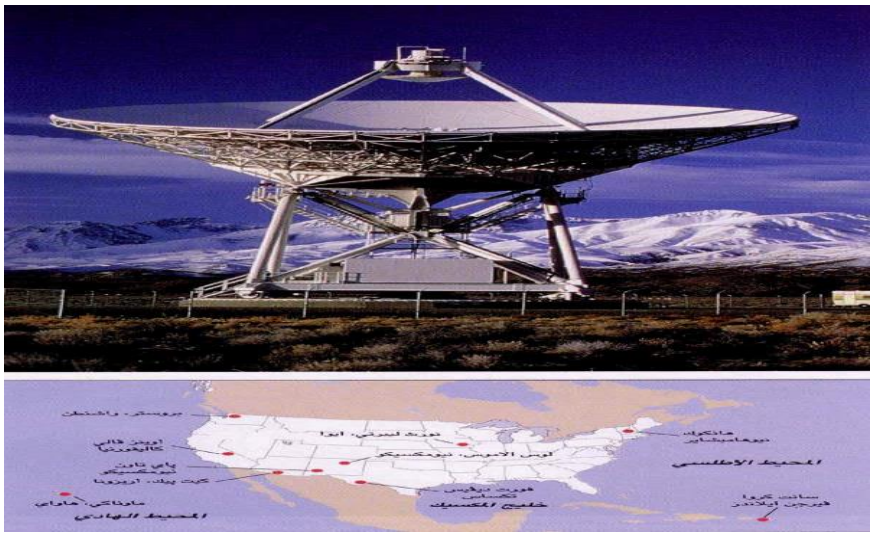


شكل (١) يوضح المجرة الحلزونية M33 هي مقر ست مناطق ميزرية على الأقل (تشير ألوان الدوائر الدالة على الميزرات إلى سرعاتها بعد التصحيح بأخذ حركة المجرة M33 في الاعتبار: الأحمر: مبتعدة؛ الأزرق: مقتربة)

٤- عملية التضخيم هي أسهل في الفضاء

من المصادفات أن الظروف الملائمة للميزرات في السحب المحيطة بنجم ما، تنشأ خلال المراحل المبكرة والمتأخرة من حياته. وهذان الطَّوران هما من أكثر الأطوار تحديا في التطور النجمي.. ويوفِّر الميزر الفائق السطوع معلومات ثمينة جدا عنهما.

كيف يتسنّى للسحب الغازية البينجمية أن تصنع تلقائيا ما استغرق الفيزيائيون عشرات السنين لإنجازه في مختبراتهم المجهزة أحسن تجهيز؟ تنجم الميزرات والليزرات عن حالة تُعرف باسم التوزع المعكوس (الانعكاس السكاني) population inversion، وفيها يفوق عدد الذرات أو الجزيئات، التي حالتُها الطاقية أعلى، عددَ التي حالتُها الطاقية أدنى، وهذا عكس ما يحدث في الطبيعة. ونتيجة لذلك، تكون استجابة التوزع المعكوس للفوتونات الواردة، خلافا للسلوك المألوف. ونتيجة لذلك ، فعندما تصادف الذراتُ أو الجزيئاتُ الفوتوناتِ ذات الطول الموجي الملائم، فإنها تنتقل عموما من حالةٍ طاقية دُنيا إلى حالة طاقية عُليا. أما في حالة التوزع المعكوس فإن معظم الذرات أو الجزيئات تكون فعلا في الحالة الطاقية العليا، لذا فإنها تستجيب بإصدار فوتون بدلا من امتصاصه ، ما في حالة التوزع المعكوس فإن معظم الذرات أو الجزيئات تكون فعلا في الحالة الطاقية العليا ، لذا فإنها تستجيب بإصدار فوتون بدلا من امتصاصه .وعندئذ يؤدي كل انبعاث إلى تحرير فوتونات أخرى ، وبذلك يضخم الضوء الوارد بدلا من أن يمتص.



شكل رقم (٢) يبين المقراب الراديوي (في اليمين) في أوينز ڤالي بكاليفورنيا هو واحد من عشرة يعملن في الولايات المتحدة مبينة مواقعها في الخريطة في الاسفل

تولِّد الميزراتُ والليزرات المخبرية التوزع المعكوس، عادة، بتنقيل الذرات أو الجزيئات بين ثلاث حالات طاقية: الحالة الدنيا المستقرة (وهي المشغولة بأغلب الذرات)، وحالةٍ طاقية عُلْيا من تلك وقصيرة العمر، وحالة متوسطة بينهما، عمرها أطول، وإليها تؤول الحالة العُلْيا. ومنها تنتقل بسرعة إلى الحالة المتوسطة، فيزداد عدد "سكان "الحالة المتوسطة الطويلة العمر، حتى يفوق العددَ الذي يشغل الحالة الدنيا: وهذا هو" التوزع المعكوس." يضخ منبع للطاقة الذرات أو الجزيئات إلى الحالة العليا ، وتستطيع الذرات أو الجزيئات "السقوط" من الحالة المتوسطة إلى الدنيا وذلك بأن تبعث فوتونا، ولكنها غالبا لا تفعل ذلك، إلا بانبعاث مستحث.

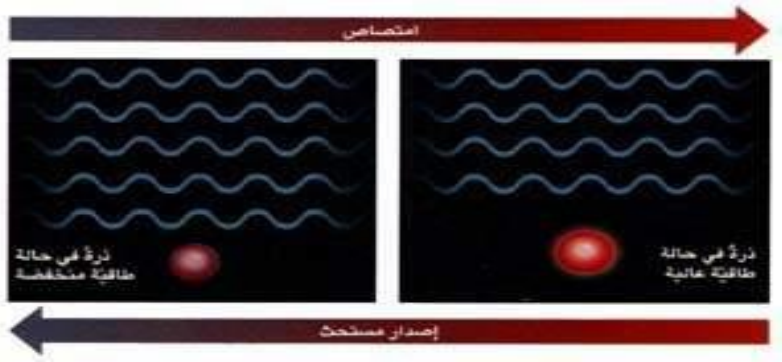
يمكن للتوزع المعكوس أن يظهر أيضا في منظومات أكثر تعقيدا، لها أربعة مستَوَيات طاقية أو أكثر، تنتقل بينها الذرات أو الجزيئات. وبالفعل، تشتمل معظم الميزرات البينجمية على مثل هذه التشكيلات المعقدة. ومن الصعب جدا تحقيق التوزعات المعكوسة على الأرض، إذ من العسير الحصول على الحالات المتوسطة الطويلة العمر. ففي غاز له درجة حرارة الغرفة وضغطُها، تفرض التصادمات توزيعا معينا هو توزيع بولتزمان للجسيمات بين الحالات الطاقية :فيتناقص عدد سكان الحالات العالية الطاقة أسيًّا. وأي ذرة (أو جزيء) في حالة مثارة ستحوِّل طاقتها الداخلية إلى جارتها المنخفضة الطاقة عند تصادمهما، وبذلك يسوَّى أي توزع معكوس بسرعة.

٥ ـ فيزياء الانبعاث المستحث

ينجم الانبعاث المستحث، وهو أساس عمل الميزر، عن خاصية مهمة لجميع القوانين الفيزيائية المعروفة عمليا: وهي (للاتغيُّر) الصمود invariance حِيال انعكاس الزمن. فإذا سُجِّلت سيرورة مِكروية (صغرية)، كتصادم جزيئين، بآلة تصوير ڤيديو، فإنه يستحيل عند عرضها الحُكْم: أيجري العرض إلى الأمام أم إلى الوراء. (ن الأحداث الماكروية (الكبرية، العيانية) لا تُبدي هذا اللاتغير بسبب السلوك الإحصائي للمنظومات التي تحوي جسيمات كثيرة)

لنتأمل، بوجه خاص، ذرة تستطيع أن تَشْغل إحدى حالتي طاقة متميزتين (انظر الشكل التوضيحي في الأسفل). لا سبيل إلى التمييز بين سلسلة الأحداث التي تمتص فيها الذرة فوتونا من حقل الإشعاع المحيط بها وتقفز إلى حالتها المثارة، وبين التفاعل المعكوس زمنيا الذي تضيف الذرة فيه فوتونا إلى الحقل وتقفز إلى الحالة الدنيا. كلا الحادثين يحقق حفظ الطاقة، وكلاهما ـ من حيث المبدأ ـ محتمل بقدر واحد.

يتطلب الامتصاص والانبعاث المستحث تلاؤما يكاد يكون كاملا بين تردد الفوتون وسرعة الذرة المتفاعلة ومستويات طاقتها. والنتيجة هي أن الفوتون الذي تُطْلقه ذرة مستحثة هو توأم الفوتون الذي سبب الانبعاث. ففي سحابة غازية، جسيماتُها تتحرك بسرعة واحدة تقريبا، يمكن لفوتون ذي تردد واتجاه معينين أن يصير اثنين، ويمكن للاثنين أن يصيرا أربعة وهكذا. لذا يحافظ وابل الفوتونات التي تكوِّن الميزر الفلكي، على ترابط شديد في التردد والاتجاه.



شكل رقم (٣) يوضح ذرة في حالة طاقية عالية واخرى في حالة طاقية منخفضة عند حدوث الامتصاص والانبعاث المستحث

ولا يمكن أن نحيد عن هذا التوازن ـ بما في ذلك التوزع المعكوس ـ إلا عندما تنخفض الكثافة عن حدٍ أدنى حَرِج. إن كثافة التوزيع في الهواء العادي هي 19×10^{2} جسيم تقريبا في السنتيمتر المكعب، ولكن الميزر العامل على الأطوال الموجية التي يفضّلها الهدروكسيل البينجمي، لا يستطيع العمل إلا في حال وجود نحو 10^{5} جُسيم في السنتيمتر المكعب. وهذا العدد أصغر من كثافة التوزيع في الهواء بنحو ١٠٠ تريليون مرة؛ ومع أن هذه الكثافة تُضارع أفضل تفريغ يمكن التوصل إليه في المختبر، فإنها أعلى بعض الشيء بالنسبة إلى الفضاء البينجمي ولا توجد إلا في تلك المناطق التي تبدو كأنها سُحُب بين النجوم.

الفصل الثاني

١-تزودنا الميزرات بمعلومات فريدة

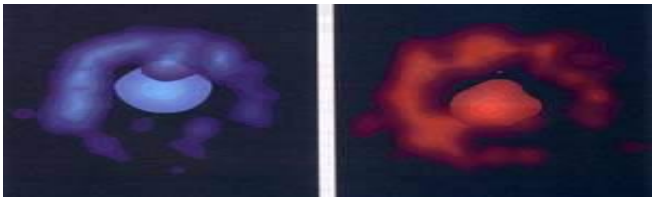
يوفِّر الإشعاعُ المضخَّم للراصِدين رؤية للأجرام الفلكية تختلف بشدة عن الصورة التي يقدمها الإشعاع غير المضخَّم. وأهم سِمَتَيْن مُميِّزتين له هما :السطوع الشديد والحيز الصغير. يقيس الفلكيون شدة مصدر الإشعاع بدلالة درجة حرارة السطوع، أي بدرجة الحرارة التي يجب أن يصل إليها جسم في حالة توازن حراري (وهو المسمى بالجسم الأسود) لكي يبعث القَدْر نفسه من الإشعاع بطول موجي معين. إن درجة حرارة السطوع لسطح الشمس هي ٥٨٠٠ كلفن تقريبا، إلا أن درجة الحرارة المناظرة لبعض الميزرات تتعدى ١٠ 15 كلفن[٦].

ولا بدّ أن يكون هذا السطوع المثير ناجمًا عن تضخيم عظيم١. ومع أن أي حجم متضمِّن لتوزع معكوس يضخم الإشعاع المنتشر خلاله، فإن التضخيم يزداد بحدة بازدياد عدد الجسيمات التي يصادفها فوتون ما أثناء مروره. لكن كثافة المناطق الميزرية يجب أن تكون منخفضة للتقليل من معدلات التصادم وللسماح بتوزع معكوس؛ وعلى هذا يجب أن يكون امتداد هذه المناطق هائلا (بالمقاييس الأرضية) لتوفير عدد من الجزيئات كافٍ للتضخيم. لتوفير عدد من الجزيئات كاف للتضخيم. ويمكن لميزر بينجمي نموذجي أن يمتد أكثر من ١٥٠ مليون كيلومتر، أي ما يقارب نصف قطر مدار الأرض حول الشمس.

ومع أن مثل هذا المقدار يتراءى لنا ضخما عند مقارنته بميزر المختبر، فإنه صغير جدا مقارنة بالمسافات البينجمية أو بأبعاد المعالِم التي يستطيع الفلكيون رصدها بوسائل أخرى. فالسُّحب الجزيئية العملاقة، التي تحوي مناطق مكوِّنة للنجوم، يقع قطرها النموذجي بين ١٠ و ١٠٠ پارسك (يساوي الپارسك ٣,٢٦ سنة ضوئية أي نحو ٣٠ تريليون كيلومتر(ويبلغ قطر القلب الداخلي لهذه السُّحب بضعة پارسك، وقطر المناطق المكوِّنة للنجوم قرابة الپارسك. ويمكن أن تنشأ الميزرات عن حجم لا يزيد قطره على تريليون كيلومتر، وهذا هو أصغر بُعْد يمكن تمييزه بأجهزة أخرى. وربما امتدت حشود الميزرات ١٠٠ بليون كيلومتر، وامتدت بُقع الميزر المنفرد بُعْدًا أصغر من هذا بألف مرة.

إن أحد أسباب كون بقع الميزر المنفرد تشغل مثل هذا الجزء الصغير من السحب هو أن جزءا صغيرا فقط من الجزيئات في منطقة ما، يمكنه أن يشترك في إصدار ميزري مترابط. ولمّا كانت معظم المواد في السحب البينجمية تشارك في حركات مضطربة سريعة، فإن كثيرا من هذه الجزيئات لا تستطيع أن تتفاعل بصورة مؤثِّرة مع الإشعاع الصادر عن موقع معين. وعندما يُصْدِر جزيء متحرك فوتونا، فإن تأثير (مفعول) دوپلر يزيح الطول الموجي للفوتون (يفسر هذا التأثير أيضا "الانزياح الأحمر" للمجرات البعيدة المرتدّة بسرعة.) فإذا تغير الطول الموجي لفوتون ما بأكثر من القدر الضئيل الذي يناظر حركة نسبية تساوي تقريبا ١٠٠٠ متر في

الثانية، فإنه لا يستطيع حث جزيئات أخرى على الإشعاع، ولا يَحْدث تضخيم ميزري. ويحدث التضخيم الميزري فقط على طول مسارات يكون فيها لجميع الجزيئات ، بالمصادفة ، سرعات متقاربة كفاية. إن معظم مصادر الميزر الفلكية الشديدة ، تبدو كأنها مجموعات من بقع ساطعة صغيرة وكثيرة ، تشبه سحابة كثيفة من اليراعات الساطعة بشدة. وكل بقعة تُشِع بتردد (تواتر) يناظر انزياحا دوپلريا مختلفا ومعينا تماما، يحدد سرعتها بالنسبة إلى الأرض.

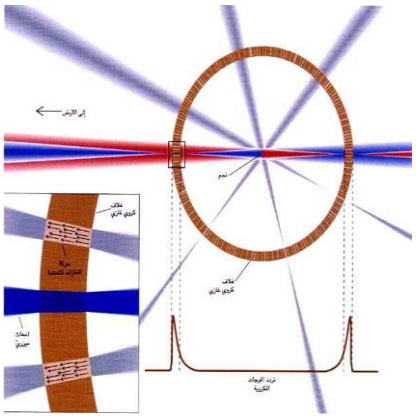


شكل (٤) يوضح الانبعاثات الراديوية عن سحابة غازية تحيط بنجم أحمر عملاق، وهي تظهر هنا في مشاهد منفصلة لأجزاء السحابة الموجودة بين النجم والأرض (في اليسار)، ولأجزائها عند الطرف الآخر من النجم في اليمين.

ومع ذلك، فإن بعض السحب الغازية تتحرك بصورة أكثر تنظيما. ومع ذلك ، فإن بعض السحب الغازية تتحرك بصورة أكثر تنظيما. ولعل أكثر الأمثلة شيوعا هو مثال الرياح النجمية التي تهب من سطح نجم عملاق أحمر. ففي هذا الطور المتأخر من التطور النجمي ، تطرح النجوم الغاز أثناء انتفاخها (كأنها بالونات رشوح ضخمة) إلى مسافات قد تتعدى نصف قطر شمسنا بألف مرة.)إن الشمس ستصير عملاقا أحمر بعد أربعة بلايين من السنين أو نحو ذلك.(وهذه الرياح النجمية غنية بالجزيئات التي تُصدِر إشعاعا ميزريا. وهذه الرياح النجمية غنية بالجزيئات التي تصدر إشعاعا ميزريا. ولكل جزيء ميزري مجموعة مختلفة من مستويات الطاقة ، وكل منها يشع من جزء من الرياح النجمية حيث تستحث الظروف التوزع المعكوس الخاص به[٧]. تُصدر جزيئات الهدروكسيل إشعاعا ميزريا من قشرة كروية تبعد عن النجم نحو ١٠٠ بليون ميل، أي قرابة ٢٥ ضعف المسافة بين الشمس والنجم بلوتو وتتألق ميزرات بخار الماء من منطقة تبعد عن النجم ١٠ بلايين ميل تقريبا، كما تتألق ميزرات أحادي أكسيد السيليكون من المنطقة التي تقع تماما فوق حد الجو النجمي. ويستطيع الفلكيون بموالفة أجهزتهم على الطول الموجي لكل ميزر بدوره، أن يسبروا رياح العمالقة الحُمْر بتفصيل أشمل بكثير مما يستطيعون سبْره من كثير من البنى البعيدة الأخرى.

يتميز الرسم البياني الذي يربط بين شدة وتردد ميزر الهدروكسيل المحيط بعملاق أحمر، بذروتين إحداهما زرقاء والأخرى حمراء، ونموذجيا تناظِر المسافة الفاصلة بينهما، فرقا في السرعة يناهز ١٠ أميال في الثانية. (بما أن الإشعاع يتكون من أمواج مكروية، فإنه ليس أزرق أو أحمر حقا، ولكن منشأ المصطلحين هو الانزياحات الدوبلرية في الضوء المرئي. أما "الأزرق" هنا فهو الطرف العالي التردد من الطيف ويدل على مصدر مقترب، وأما "الأحمر" فهو الطرف المنخفض التردد ويشير إلى مصدر مبتعد). إن هذه العلامة الفارقة مميِّزة إلى الحد الذي جعلها تُستعمل لتعرُّف العمالقةِ الحمر في مختلف مواقعها في المجرة، حتى عندما يكون الانبعاث الضوئي من النجم نفسه محجوبا بغبار طارئ.

وتنشأ هذه الصورة الجانبية بطبيعة الحال عن الحركة القطرية للرياح النجمية. تتحرك جزيئات الهدروكسيل الموجودة في القطاعات المختلفة من القشرة الكروية، في اتجاهات مختلفة، ولها من ثم سرعات نسبية كبيرة، ولا تستطيع التفاعل قطريا. وعلى العكس من ذلك، تتحرك الجزيئات الموجودة على خط قطري معين في اتجاه واحد بسرعات متقاربة؛ وبالتالي تكاد تكون كل منها في حالة سكون بالنسبة إلى الأخرى. ونتيجة لذلك ، لا تؤثر الفوتونات المنبعثة من جزيء إلا في الجزيئات الواقعة على الخط نفسه معه ، ولا يكون التضخيم الميزري ممكنا إلا للإشعاع المنتشر نحو الداخل أو نحو الخارج على طول خط يمر في مركز القشرة.



يعرض الشكلُ(٥) تخطيطيا، منظرا جانبيا لغلاف كروي حول عملاق أحمر يحتوي (الغلاف) على ميزر الهدروكسيل.

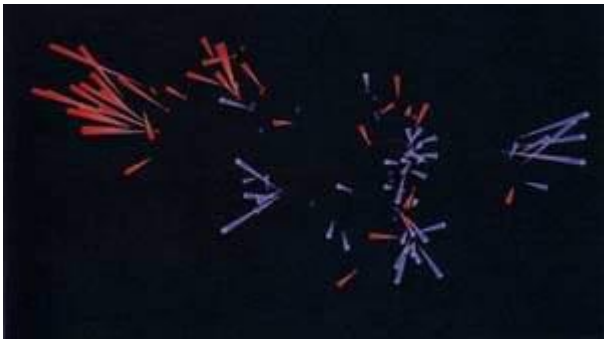
إذ تبرز الأشعة من السحابة الغازية كالأشواك. وفي أي موقع معين، لا يستطيع راصد اكتشاف الانبعاث إلا من منطقتي القشرة الكروية الواقعتين على طول خط الرؤية الممتد إلى النجم المركزي. وفي أي موقع معين ، لا يستطيع راصد اكتشاف الانبعاث إلا من منطقتي القشرة الكروية الواقعتين على طول خط الرؤية الممتد إلى النجم المركزي. وتكون الإشارة الصادرة عن "الأمام" منزاحة نحو الأزرق، والإشارة الصادرة عن "الخلف"

منزاحة نحو الأحمر. وكل منطقة هي قطاع صغير من كرة يشبه القلنسوة. وكل منطقة هي قطاع صغير من كرة يشبه القلنسوة.

وقد حصل فريق يرأسه . S .R < بوث) ‹من مرصد جوردل بانك في إنكلترا) على توكيد مباشر ورائع لهذا التفسير، وذلك برصد النجم المعروف بـ . 8 . OH127 إذ رسم الباحثون ذروتي الانبعاث الميزري وبينهما "الكتفان" الأضعف منهما والمنزاحتان دوبلريا بدرجة أقل. وتظهر خرائطهم بوضوح أن الإشعاع في ذروتي الشدة يأتي من قلنسوتين محبوكتين (مكتنزتين) المضغوط جيدا ومحددتين ، وواقعتين على خط الرؤية. أما إشعاع الكتفين، وهو أضعف، فيغطي منطقة دائرية وأكبر من قشرة كروية في حالة تمدد، وهذا هو المتوقع. ويعكس مظهر القشرة غير الكامل والمتكتل حيود المنطقة الميزرية عن التماثل الكروي التام. ويجب توقع مثل هذه اللانظاميات مخالفات في رياح نجمية مضطربة[٨].

٢ـ مقياس فلكي للمسافات

إضافة إلى بث تفاصيل الرياح النجمية ، تمدنا ميزرات العمالقة الحمر أيضا بمعلومات عن بعدها عن النجوم المرتبطة بها. إن تحديد المسافة هو من أصعب المسائل في علم الفلك. والحق أن مقياس المسافات الكونية مازال غير أكيد. ويستطيع الفلكيون قياس الحيز الزاوي للجرم بدقة رائعة ، ولكنهم نادرا ما يستطيعون تعيين الحيز الخطي المرتبط به. وفي الحالات النادرة التي يقاس فيها كل من هذين الحيزين، تُعيَّن مباشرة المسافة إلى المصدر: فهي ببساطة نسبة الحيز الخطي إلى الحيز الزاوي.



شكل رقم (٦) يوضح منطقة تكوين النجم في الاعلي والتي تحوي ميزرات كثيرة، تنبثق كلها عن السحابة الغازية حول نجم حديث جدا.

وتمنحنا الأغلفة الكروية لميزر الهدروكسيل المحيطة بالعمالقة الحمر واحدة من هذه الفرص النادرة. فكثير من النجوم العملاقة الحمر يتغير سطوعها بانتظام : بدور طوله عام تقريبا. إن الإشعاع النجمي هو المضخة التي تصنع التوزع المعكوس في الهدروكسيل، لذا فإن شدة الميزر يجب أن تتبع زمنيا نسق النجم. يبدي الخطان المنزاحان الأحمر والأزرق اتفاقا في التغير ، غير أن الخط الأحمر يتأخر عدة أسابيع ، وهي المدة اللازمة لعبور إشارته من مؤخرة الغلاف الكروي إلى مقدمته. وهذا التحديد الدقيق لمدة التأخر يؤدي إلى تعيين قطر الغلاف الكروي. وبقياس آني للقطر الزاوي للغلاف والتأخر بين الإشارتين المنزاحتين الحمراء والزرقاء ، يمكن للفلكيين تحديد المسافة إلى النجم. وقد استعمل <ياء. هرمان> و <ي. ح. هابينگ) <من مرصد لايدن في هولندا (الأرصاد الميزرية لتعيين بُعدنا عن عدة عمالقة حمر في مجرتنا. وقد أشارا إلى أن قياس المسافات إلى مجرات أخرى قد يكون ممكنا أيضا.

إن المقاريب الراديوية ملائمة جدا لإجراء قياسات كهذه أكثر من المقاريب الضوئية، لأنها تستطيع تمييز معالم أدق بكثير. فالميْزُر الزاوي للمقاريب الضوئية محدود بالتقلبات الجوية، ويبلغ قيمة مستقرة قريبة من ثانية قوسية. وكل ما يَحْدث عند استخدام مقراب أكبر، هو أن كمية الضوء التي يجمعها تكون أكبر. وبالمقابل، فكل زيادة في حجم المقراب الراديوي تؤدي إلى ميزر أدق.

لقد استنبط علماء الفلك الراديوي طرائق لضم الإشارات الآتية من المقاريب الراديوية المنتشرة في أرجاء العالم ، فصنعوا بذلك فتحة فعالة قطرها ٨٠٠٠ ميل. وعند تطبيق هذه التقنية، المعروفة بتَداخُلية الخط القاعدي الطويل جدا very long baseline interferometry VLBI ، على مصادر خطوط انبعاث راديوي، فإن الميزرات وحدها هي التي تملك الشدة الكافية والعرض الضيق لخط الطيف، الضروريَين لربط الإشارات

الواردة من مستقبِلات متعددة. وقد رَفعت التقنية VLBI قياسات الميزر الزاوي الفلكي إلى ذُرا جديدة: ذلك أن الصور الميزرية يمكن أن تكون دقيقة بحدود ٣٠٠ مكروثانية قوسية (لو كان للعين البشرية مقدرة الميزر هذه لاستطعتَ رؤية هذه الكلمات من مسافة ٣٠٠٠ ميل تقريبا(وفوق ذلك، تستطيع المقاريب الراديوية أن تميز الانفصال بين بقعتين ميزريتين متجاورتين ولو كانتا أشد تقاربا من ذلك: ففي وسع الباحثين تمييز مصدرين أحدهما قريب من الآخر بقدر ١٠ مكروثوان قوسية. ويمكن للمرسِلات اللاسلكية ـ على الأرض والقمر، باعتبارها بقعا منفصلة ـ أن تُسجِّل من على بعد ١٠٠٠ سنة ضوئية تقريبا.

وهذه الدقة غير العادية تجعل من الممكن تحديد المسافات إلى مصادر ميزرية غير العمالقة الحمر. فالنجوم الحديثة التي مازالت في طور التكون داخل سحب الغبار، قد تكون غير مرئية من الأرض، إلاّ أن الميزرات التي تزودها هذه النجوم بالطاقة، تُشعُّ بوضوح في السماء الراديوية. وقياس المسافة إلى هذه "المستنْبَتات" النجمية أعقد، لأن الفلكيين لا يستطيعون افتراض أن المصادر الميزرية مرتبة ترتيبا متماثلا ضمن غلاف كروي ممتد. ففي حالة أي جرم منفرد، لا سبيل إلى معرفة العلاقة بين سرعته على طول خط الرؤية، وسرعته المستعرضة transverse التي تسبب حركته عبر السماء. وبدلا من ذلك، على الفلكيين أن يدرسوا حشدا من المصادر الميزرية؛ عندئذ يستطيعون تركيب معادلات تربط بين سُرَع جميع أفراد الحشد. وحالما يتم إيجاد الحركات النسبية، يمكن ربط السرعات الزاوية بالانزياحات الدوپلرية لتعيين أرجح مسافة إلى الحشد.

يستطيع الفلكيون، باستعمالهم التقنية VLBI ذات القدرة العالية على الميز، كشف الحركات الظاهرية للميزرات خلال أشهر بدلا من عشرات السنين التي يستغرقها تعقُّب المصادر الضوئية. وكانت المجموعة العاملة في مركز هارڤارد سميثسونيان للفيزياء الفلكية برئاسة < M .J . موران> و < M . ريد> رائدة في رصد حركات ميزرات بخار الماء. وقد شُبِّهت السرعات الزاوية التي وجدوها، بسرعة نمو أظافر قدم رائد الفضاء على القمر أو بسرعة حركة الحلزون (البزاقة) على كوكب المشتري. وحديثا، وضع < R .C . گوين> (من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا) خريطة لأشد الميزرات سطوعا في مجرتنا، وهي منطقة تكوُّن نجمي تسمى W49 N . وتُظهر الخريطة مواقعَ كل مَعْلم ميزري لبخار الماء، إضافة إلى موقعه المستقبلي الأرجح، وسرعة ابتعاده أو اقترابه. وبجلاء يبيِّن انتشارُ السرعات والاتجاهات أن الحشد الميزري يتوسع انطلاقا من مركز مشترك. ووفقا لذلك، يمكن نمذجة البنية الكاملة لحقل السرعات في ثلاثة أبعاد. وقدَّر گوين أن الحشد موجود على مسافة ١٠,٤ كيلوپارسك وذلك بارتياب قدره ١,٣ كيلوپارسك.

واستعملت تلك المجموعة أيضا هذه الطريقة لنمذجة حركات ميزرات بخار الماء في كوكبة القوس Sagittarius B2N ؛ وهي منطقة تكوُّن نجمي قريبة جدا من مركز مجرتنا. وكانت البقع الميزرية ممتدة على مساحة قطرها نحو ٠,٣ من السنة الضوئية، وعلى بعد ٨ كيلوپارسك تقريبا (٢٥ ٠٠٠ سنة ضوئية) من الأرض. إن هذا الرقم هو القياس المباشر الوحيد للبعد عن مركز المجرة، وقد اعتمده الاتحاد الفلكي الدولي.

وفي عام ١٩٩٣ قَدَّم أعضاء في مجموعة مركز هارڤارد سميثسونيان تقريرا عن أول قياس لحركات ميزرات بخار الماء في مجرة أخرى: M33[9] . ويتوقعون أن يكون بمقدورهم في المستقبل القريب حساب مسافة المجرة، مستبعدين مصادر خطأ مهمة في مقياس المسافات الكونية. وقد وضعوا حديثا جدا خريطة للمصادر الميزرية في M106 ؛ وهي مجرّة حلزونية أكثر بعدا. وأعطى تحليل دوران المصادر الميزرية حول مركزها المشترك قيمة تقارب ٥,٤ ميگاپارسك (١٧,٦ مليون سنة ضوئية).

٣- رؤية من بُعْد

يقول موشي ايلتزر (لا نستطيع نحن الفلكيين، خلافا لغيرنا من العلماء، أن نلمس أو أن نؤثر في معظم الأشياء التي ندرسها. والمعلومات الوحيدة التي نجمعها عن الأجرام السماوية ـ باستثناء أجرام النظام الشمسي ـ تأتي من الإشعاع الصادر عنها. ويحمل الإشعاع الميزري ـ عندما يمكن كشفه ـ معلومات فريدة عن البنى النجمية، ويتيح رصد ظواهر فيزيائية فلكية صغيرة النطاق لا يمكن رؤيتها بأي طريقة أخرى).[١٠]

ويسمح التقدم المستمر في تقنيات القياسات التداخلية للباحثين بسبر تفاصيل متزايدة الصغر. وحديثا، دشن علماء الفلك الراديوي الأمريكيون صفيف الخط القاعدي الطويل جدا Long Baseline Array VLBA Very وهو صفيف من ١٠ مراقيب متطابقة موزعة عبر الأراضي الأمريكية من هاواي إلى الڤرجين آيلاندز (الجزر الأبكار) Virgin Islands . ويستطيع هذا الصفيف المخصص للأرصاد التداخلية أن يعمل كأنه جهاز واحد ذو قدرات فائقة على الميزر.

إن علماء الفلك الراديوي في اليابان وروسيا مشغولون حاليا بوضع خطط لشبكات التقنية VLBI أكثر طموحا، ويدخل فيها مقراب موجود على مدار في الفضاء. هذا وإن اكتمال الصفيف VLBA ، والأشياء المتوقعة للقياسات التداخلية التي مقرها الفضاء، تضمن لنا أن يستمر تحسن قدرة الميز لهذه "المجاهر البينجمية." وستستمر الدراسات الميزرية في التوسع

(تماما مثل مصادر الانبعاث التي يراقبونها) لتزودنا بنظرات ثاقبة لا بديل عنها إلى الكيفية التي تعمل فيها داخليا السحبُ البينجمية والنجوم المتطورة والمجرات البعيدة.

المصادر

1. Mario Bertolotti (2004). *The History of the Laser*. CRC Press. p. 180. ISBN 1420033409.
2. Fish; Reid; Argon; Xing-Wu Zheng (2005). "Full-Polarization Observations of OH Masers in Massive Star-Forming Regions: I. Data".*The Astrophysical Journal Supplement Series*. **160**: 220–271. arXiv:astro-ph/0505148 . Bibcode:2005ApJS..160..220F.doi:10.1086/431669
3. Gray, Malcolm (2012). *Maser Sources in Astrophysics*. Cambridge University Press. pp. 218–230.
4. Davis R.D., Rowson B., Booth R.S., Cooper A.J., Gent H., Adgie R.L., Crowther J.H. 1967 Nature 213 1109-10
5. Fish; Reid; Argon; Xing-Wu Zheng (2005). "Full-Polarization Observations of OH Masers in Massive Star-Forming Regions: I. Data".*The Astrophysical Journal Supplement Series*. **160**: 220–271. arXiv:astro-ph/0505148 Bibcode:2005ApJS..160..220F.doi:10.1086/431669
6. Weaver H., Dieter N.H., Williams D.R.W., Lum W.T. 1965 Nature 208 29-31
7. Neufeld, David A.; Melnick, Gary J. (1991). "Excitation of Millimeter and Submillimeter Water Masers in Warm Astrophysical Gas". Atoms, ions and molecules: New results in spectral line astrophysics, ASP Conference Series (ASP: San Francisco). 16: 163
8. Herrnstein; Moran; Greenhill; Diamond; Inoue; Nakai; Miyoshi; Henkel; Riess (1999). "A 4% Geometric Distance to the Galaxy NGC4258 from Orbital Motions in a Nuclear Gas Disk". *Nature*. **400** (6744): 539–541. arXiv:astro-ph/9907013 .Bibcode:1999Natur.400..539H. doi:10.1038/22972
9. Brunthaler, A.; Reid, MJ; Falcke, H; Greenhill, LJ; Henkel, C (2005). "The Geometric Distance and Proper Motion of the Triangulum Galaxy (M33)". *Science*. **307** (5714): 1440–1443. arXiv:astro-ph/0503058. Bibcode:2005Sci...307.1440B
10. Elitzur M. Annu. Rev. Astron. Astrophys. 1992 30 75-112