مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

التطبيقات الحديثة لمفعول شيرينكوف

الدكتور عدنان المحاسب*
الدكتور ختام قنجراوي**

□ الملخّص □

تتركز جهود الباحثين اليوم حول محورين أساسيين لمعرفة القوانين التي تحكم الطبيعة.
المحور الأول: هو دراسة البنية الماكروية الأجسام كدراسة المجرات وقوانينها.
المحور الثاني: وهو دراسة البنية الميكروية للمادة ومعرفة مما تتكون المادة؟ وما هي الكواركات؟ وماذا بعد الكواركات وموضوع بحثنا هذا يأتي في هذا المجال وذلك باستخدام مفعول شيرينكوف بعد أن اتخذه الباحثون من جديد كمنهج عمل ونظام متكامل للدراسات والأبحاث في المفاعلات النووية الضخمة في العالم، ومن الاستفادة منه في تطبيقات تقنية وفيزيائية متعددة من أهمها: طريقة جديدة لتحديد كتلة الجسيمات الأولية. ومن ثم يستعرض المقال بعض التطبيقات الهامة الأخرى كمفعول شيرينكوف.

* أستاذ مساعد في قسم العلوم الأساسية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق – سورية.
** مدرسة في قسم العلوم الأساسية بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

The Modern Application of Cherenkov's Effect

Dr. Adnan ALMUHASEB*

Dr. Khitam KENJRAWI**

❐ ABSTRACT ❐

The efforts of investigators concentrated nowadays on two main axes, for the knowledge of the rules that control nature.

The first axis is the study of the macro-structure of bodies like galaxies and their rules.

The second axis is the study of the micro-structure of the substance to know what the substance is composed of? What are the Quarks? What beyond the Quarks.

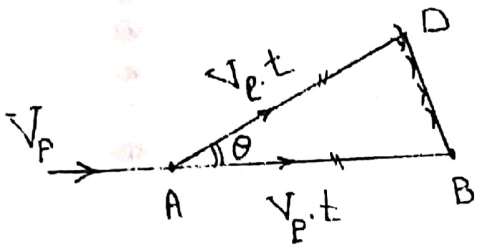
The topic of our research falls within this range by using Cherenkov's effect being newly adopted by the investigators as a methodology of work and a complementary system, for the studies and researches in the huge nuclear reactors known in the world. This methodology is also used to get benefit from the various technical and physical applications.

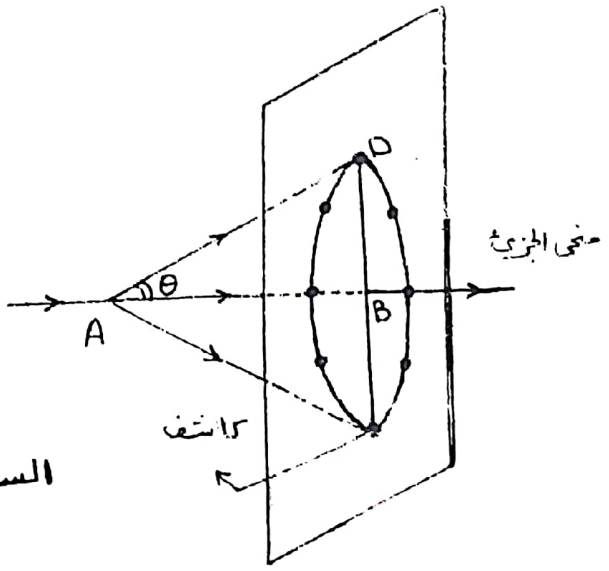
The most important of the applications is a new way to determine the mass of elementary particles, and then this paper reviews some of the other significant applications for the effect of Cherenkov.

* Associate Professor at Department of Basic Science, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

** Lecturer at Department of Basic Science, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Damascus, Syria.

عندما يجتاز جزيء مشحون وحيد الطاقة وذو طاقة عالية -بعد خروجه من المسرع- وسطاً مسموحاً به لإصدار أطوال موجات الضوء المرئي (وكان هذا الوسط شفافاً، متجانساً ومتماثل المناحي ذا قرينة انكسار (n) وكانت سرعة الجزيء أكبر من سرعة الضوء في ذاك الوسط) فإنه يتولد في هذه الحالة فوتونات على شكل إشعاع كهرطيسي، تنتشر هذه الفوتونات بشكل مخروطي حول منحى إنتشار الجزيء وبشكل تناظري، نصف زاويته الرأسية تساوي (θ) الشكل (1) والتي تتوقف على سرعة هذا الجزيء في ذاك الوسط. ويسمى هذا الإشعاع، إشعاع شيرينكوف (Cherenkov) كما يسمى هذا المفعول (مفعول شيرينكوف)(Cherenkov's Effect)[1].





الشكل (1)

الشكل(1)

وتجدر الملاحظة أنه لم نقع في حالة تناقض مع (مسلمة أينشتاين) القائلة باستحالة تحرك أي شيء بسرعة الضوء في الخلاء[2]. وأن الجزيء يتحرك بسرعة أعلى من سرعة الضوء في الوسط الغازي أو السائل ولكنه أبطأ من سرعة الضوء في الخلاء.

- إذا كانت (V_p) هي سرعة الجزيء بعد خروجه من المسرع.

(V_l) سرعة الضوء في الوسط الشفاف.

(t) الزمن اللازم ليقطع الجزيء المسافة $\overline{AB}$ وليقطع الضوء المسار الضوئي $\overline{AD}$ من الشكل (1) نحسب Cos θ:

$$\cos\theta = \frac{V_1.t}{V_P.t} = \frac{V_1}{V_P} \quad (1)$$

لدينا حسب قانون ديكارت في انكسار الضوء بين وسطين شفافين متجانسين متماثلي المناحي قرينة انكسار الوسط الأول (n_1) وقرينة انكسار الوسط الثاني (n_2) ما يلي:

وسط أول	V_1 , n_1	C , 1 وسط المسرّع "الخلاء"
وسط ثان	V_2 , n_2	V_1, n الوسط الشفاف

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad \& \quad \frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2}$$

ولكن إذا كان الوسط الأول(الوسط المسرع) هو الوسط الخالي الذي قرينة انكساره (n_1=1) وسرعة الضوء فيه (V_1=C) وكان الوسط الثاني (الوسط الشفاف) يتميز بالقرينة (n_2=n) فلدينا ما يلي:

$$\sin i_1 = n \sin i_2 (2) \quad \& \quad \frac{\sin i_1}{C} = \frac{\sin i_2}{V_t} \quad (3)$$

بتقسيم العلاقتين (2) على (3) نحصل على ما يلي:

$$C = V_1.n \Rightarrow V_1 = \frac{C}{n} \quad (4)$$

نعوض في (1) فنجد:

$$\cos\theta = \frac{V_1}{V_P} = \frac{\frac{C}{n}}{V_P} = \frac{1}{n\frac{V_P}{C}} \quad (5)$$

بفرض:

$$\frac{V_P}{C} = \beta < 1 \quad (6)$$

ولدينا دوماً:

$$\cos\theta < 1$$

إذاً بالتعويض في (5) $\Leftarrow$ $\boxed{\cos\theta = \frac{1}{n.\beta}}$

وهي علاقة شيرينكوف.

لدينا دوماً:

$$\cos\theta = \frac{1}{n.\beta} < 1 \Rightarrow n.\beta > 1$$

ومنه:

$$\beta > \frac{1}{n} \quad (7)$$

ومن المتراجحتين (6) و (7) نجد أن مجال تغير β هو: $\frac{1}{n} < \beta < 1$

إن هذا المفعول شبيه تماماً بما يحدث أثناء اصطدام قذيفة أو طائرة نفاثة ببعض الأوساط الجوية العليا عندما تسير بسرعة تفوق سرعة الصوت في ذاك

الوسط، فتصدر موجة صدم نسميها عادةً(اجتياز الطائرة لحاجز الصوت).

ونستطيع تعيين الإندفاع (أو كمية الحركة) لهذا الجزيء بتعيين منحاه أولاً وفق آثاره التي يحدثها في حقل مغناطيسي، وثانياً بقياس الزاوية (θ) التي تصنعها الفوتونات الصادرة بمفعول شيرينكوف(وهي زاوية شيرينكوف) وبذلك نستطيع قياس كتلة هذا الجزيء حيث يمكن تطبيق هذه الطريقة في القيلس على مجالات واسعة من قيم الإندفاعات(أو كميات الحركة) لجزيئات أخرى مجهولة الكتلة وذلك لتعيين هذه الكتلة المجهولة بطريقة شيرينكوف.

نشير هنا بأنه لا توجد حتى الآن، أية طريقة تقنية أخرى أفضل وأدق من هذه الطريقة (طريقة شيرينكوف) لقياس الكتلة المجهولة للجزيء. وتسمى هذه الطريقة(طريقة تصوير حلقة شيرينكوف) (Ring Imaging (RICH) Cherenkov) كما في الشكل (1). لأن الأشعاع الصادر والذي يتلقاه مستوى صفيحة حساسة للفوتونات معامدة لمنحى الجزيء، يحدث حلقة والتي تسمى حلقة (RICH) والتي يزداد قطرها بازدياد سرعة الجزيء.

– لقد اقترحت هذه التقنية لأول مرة عام 1960 وطبقت تقنياً لأول مرة عام 1977 واستخدمت حديثاً ومن جديد وبتقنيات متطورة في مركز الطاقة النووية للبحوث (CERN) في جنيف في سويسرا وفي مسرع (Delphi) في المركز نفسه. وفي المسرع الخطي (SLAC) التابع لـ (Standford) في إنكلترا وغيرها.

واعتماداً على طريقة شيرينكوف (RICH) في قياس الكتلة يمكن حساب كتلة الجزيئات الميكروية(اللامتناهية في الصغر) مثلاً الكواركات (quarks).

فما هي أولاً الكواركات (quarks)؟

كان النوكليون (Nucleon) كالبروتون (Proton) أو النيترون (Neutron) هو المكون الأساسي لنوى الذرات التي يتألف منها جدول الترتيب الدوري الفيزيائي للعناصر.

وبعد اكتشاف الهادرونات (Hadrons) والتي تنتمي اليها البارايونات (Baryons) والميزونات (mesond)....[4]، استخدم الفيزيائيون في علم الكرموديناميك الكوانتي ((Quantum Chromodynamic) فيما يسمى بالنموذج المعياري (Standard Model) استخدموا جزيئات أساسية جديدة(أي مكونات نووية أبسط من النوكليون (nucleon) هي الكواركات (quarks) التي عددها ستة كواركات:

– ثلاثة كواركات أخرى تحمل كل منها شحنة كسرية تساوي $+\frac{2}{3}e$ وهي الكواركات u, c, t.

- ثلاثة كواركات أخرى تحمل كل منها شحنة كسرية تساوي $-\frac{1}{3}e$ وهي الكواركات d, s, b. كما هو واضح في الجدول التالي [5]:

شحنة الكوارك	رمز الكوارك
$+\frac{2}{3}e$	u, c, t
$-\frac{1}{3}e$	d, s, b

فيمكن باستخدام النموذج المعياري (Standard Model) الذي يؤيد وجود الكواركات أن نكتب شحنة البروتون مثلاً كما يلي:

البروتون (Proton) يتألف من ثلاثة كواركات هي (u, u. d)[3].

$$P^+ = uud = +\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e + \left(-\frac{1}{3}e\right) = +e$$

هذا وأن كل كوارك q يوافقه كوارك مضاد (anti quark) $\bar{q}$ يحمل شحنة مساوية للكوارك ولكن يخالفه إشارةً مثلاً الميزون (π^+) الذي يحمل شحنة كلية (+e) يتألف من كوارك u وكوارك مضاد $\bar{d}$ أي:

$$\pi^+ = u\bar{d} = +\frac{2}{3}e + \frac{1}{3}e = +e$$

وقد قدرت قيمة قطر الكوارك في مركز (Hera) بألمانيا [6.7] فوجدت من رتبة (10^{-19} m) وبالإعتماد على طريقة شيرينكوف (RICH) في قياس الكتلة نقترح الآن طريقة جديدة لقياس كتلة جزيء مشحون مثلاً الكوارك t ذي الشحنة $q = +\frac{2}{3}e$ المكتشف نظرياً فقط ولكن كتلته لم تحدد حتى الآن تجريبياً لأنه لم يتم حتى الآن الحصول عليه نظراً أنه ذو طاقة عالية تساوي تقريباً 95 Gev وينتظر إكمال إنشاء المصادفات الفائقةفي العالم مثل المصادم الفائق (ssc) في (Texas) في الولايات المتحدة والذي تقدر طاقته بـ 40Tev حيث أن (Tev=10^{12}ev) كي يمكن إنتاج الكواركات غير المكتشفة تجريبياً سابقاً، وبذلك يمكن تحديد ما هية الكواركات أكثر. ومعرفة بنية المادة بدقو أكبر وبهذه الطريقة في الدراسة يمكننا الإجابة على السؤال: ماذا بعد الكواركات؟

فإذا كان U فرق الكمون في المسرع معلوماً، وq شحنة الكوارك معلومة فإن الطاقة الحركية T المعطاة بالعلاقة T=q.u تصبح معلومة ومن جهة أخرى لدينا V_p سرعة الجزيء معلومة وفق مفعول شرينكوف فمن علاقة الطاقة الحركية $\left(T = \frac{1}{2}m_v V_p^2\right)$ يمكن حساب

m_v وهي الكتلة الجزيئية للجزيء ومن العلاقة التي تربط بين الكتلة الحركية والكتلة السكونية $m_v = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$ حيث $\left(\beta = \frac{V_P}{C}\right)$ يمكن حساب m_0 الكتلة السكونية المطلوبة للجزيء.

أما إذا كان لدينا جزيء غير مشحون فكيف يمكن تعيين كتلته وفق شيرنيكوف؟

لنأخذ النوترون ${}^1_0n$ وهو ذو شحنة عنصري =0، ولا يمكن القول يأنه جزيء غير مشحون بل هو مؤلف من 3 كواركات هي:

${}^1_0n = d \quad d \quad u$ (مجموع شحناتها =0)

أي

$${}^1_0n = \left(-\frac{1}{3}e\right)+\left(-\frac{1}{3}e\right)+\left(+\frac{2}{3}e\right) = 0$$

يمكن تعيين كتلة مثل هذا الجزيء بالطريقة التالية:

من أحد فوهات المفاعل يمكن أخذ قيمة الطاقة الحركية T ومن جهة أخرى $T = \frac{1}{2}m_vV_P^2$ حيث V_p معينة من شيرنيكوف ومنه m_v الكتلة الحركية معلومة وحسب العلاقة التي تربط m_v بـm_0 السابقة يمكن حساب m_0 الكتلة السكونية المطلوبة.

بعد تسريع حزمة الجزيئات وإكسابها الطاقة اللازمة لدخول الجزيء P المشحون الى الوسط الشفاف، تتهيج جزيئات هذا الوسط وتتولد فوتونات ضوئية كما ذكرنا في الطرف الآخر للوسط الشفاف كما في الشكل(1) توضع الكواشف التي م مهمتها كشف الإشعاع الصادر وتسجيله بواسطة عدادات معينة.

من هذه العدادات والتي يجري الآن تطويرها هي:

1- العدادات الغازية التي تعتمد على حوادث التشرد في وسط العداد الأساسي(الغاز) كالأرغون مثلاً.

2- وعدادات الوميض التي تتكون بشكل رئيسي من وسط ومّاض (بللورة صلبة: (Na I (TL) وهي مادة يود الصوديوم المشوب(المنشط) بالتاليوم، هذه البللورة قادرة على إصدار أشعة متألقة تقع أطوالها الموجية ضمن المجال المرئي للضوء. يلي هذه البللورة المهبط الضوئي (Photo Cathode) المصنوع أيضاً من مادة حساسة للضوء حيث تسقط عليها الفوتونات وهذا ما يسبب ولادة إلكترونات ضوئية (Photo electron) على هذا المهبط الضوئي نتيجة امتصاص الفوتونات من قبل مادة المهبط وهذه الإلكترونات الضوئية تتضاعف من قبل مجموع الدايونودات (Dinodes) وتتجه نحو المصعد ومن ثم الى الخرج لدراستها وتصنيعها.

وبما أن مفعول شيرنيكوف يعتمد أساساً على تحرير إلكترونات من جرّاء اصطدام الفوتونات مع المادة الحساسة للضوء(مادة المهبط الضوئي: Photo cathode) في الكواشف عادةً، فإنه من

المهم البحث عن أفضل المواد الحساسة للفوتونات التي تشكل نقطة البدء في الأعمال التقنية المستقبلية وتطبيقاتها في نظام (RICH).

لقد تمت دراسة هذه المواد الحساسة المكتشفة حديثاً وقورنت خصائصها مع المركبات الجديدة وأنجزت أعمال كثيرة خصصت معظمها لدراسة الفوتو-كاتودات الصلبة المصنوعة من المواد الحساسة للفوتونات. وقد تم التوصل الى أن مادة: CsI (TL) يود السيزيوم المشوب بالتاليوم تبقى حتى الآن أفضل المواد المستخدمة في كواشف الفوتونات.

حيث أعطت في هذه الحالة أجهزة الكشف المسجلة للإشعاعات الصادرة نتائج جيدة من ناحية عدد الإلكترونات الضوئية (Photo electron) الناتجة.

ولكن كان المردود الكوانتي كبيراً جداً بعدد الألكترتونات الضوئية (Photo electron) باستخدام العدادات الغازية التي يكون فيها الفوتو- كاتود مصنوعاً من مادة يود السيزيوم في وسط مؤلف من مزيج غازي مكثف لثلاث غازات هي: الأرغون والكزينون والكريبتون (Argon, Xenon, Krypton) بحيث تكون الفوتونات الواردة الى الكاشف هي فوتونات فوق بنفسجية غير مستقطبة. وقد تم الحصول على مادة يود السيزيوم المشوب بالتاليوم: CsI (TL) بطريقة الأنتشار في الوسط الخالي، بتوضع هذه المادة على صفائح كاتود (Cathode) يبلغ سطحها (30 cm×30cm) وهي مقسمة ما تريسياً الى مربعات كل منها (8×8) cm.

أخيراً:

لقد درست إمكانية تطبيق طريقة شيرنيكوف (RICH) التقنية خلال المؤتمر الذي عقد في صيف 1993 قرب Bari في إيطاليا وطرحت النقاط التالية:

1- الأوضاع الحالية والتوقعات المستقبلية لتطبيق طريقة (RICH) في المسرعات النووية المضخمة وغيرها.

2- معرفة تقنيات المعطيات التجريبية الجديدة بغية معرفة خصائص الجزيئات المدروسة.

3- الإفادة من مفعول وطريقة شيرنيكوف في كثير من المجالات الفيزيائية أهمها:

- فيزياء الجسيمات الأولية واقتراح طريقة جديدة لقياس الكتلة.
- إلكترونيات وتقنيات الكواشف حيث حصلت تطورات جديدة في المواد الحساسة للفوتونات وفي أنظمة الكشف عنها ولاسيما في مركز (Heidelberg) في ألمانيا ومركز (CERN) في سويسرا.
- تم تقديم بحث مطول حول تطبيق هذه الطريقة على علم فيزياء الفلك وذلك في المؤتمر المذكور.

Reference المراجع

1- المجلة الدورية: CERN Courier, January/Febuary 1994 (22).

2- الفيزياء النووية د.عدنان المحاسب منشورات جامعة دمشق 1957.

3- الفيزياء النووية د.هزاع جناد منشورات جامعة تشرين 1990-1991.

4- محاضرات في الفيزياء الحديثة د. عدنان المحاسب-السنة الثانية للهندسة الكهربائية والميكانيكية والطبية، جامعة دمشق 1993-1994.

5- المجلة الدورية CERN, 31,7 , Septembre (1991).

6- المجلة الدورية CEA, No 20 (p.15) Printemps (1991)

7- المجلة الدورية CERN, 31, 10 (P.29) Decembre (1991)