

- المجال الكهربائي الجوي

تعتبر المركبة الشاقولية للمجال الكهربائي الأرضي (E) من الظواهر الكهربائية المهمة في الجو ويعبر عنها أحياناً بانحدار الجهد الكهربائي: $-\frac{dV}{dz}$ أو بدلالة كثافة الشحنة السطحية (9) حيث:

$$E = \frac{dV}{dz} = \frac{9}{\epsilon_0} \dots (1)$$

وتهمل المركبة الأفقية للمجال في الجو الصافي لصغرهما.

وبالرغم من اعتبار الهواء عازل كهربائية إلا أننا دائماً نتحسس وقياس المجال الكهربائي والتيار الكهربائي الذي ينساب من الجو متجهاً نحو الأرض أي أن هناك في الجو محصلة شحنات فضائية موجبة وعلى سطح الأرض شحنات سالبة. ويقل المجال الكهربائي مع الارتفاع (الجهد يزداد مع الارتفاع) وذلك بسبب زيادة التوصيلة الكهربائية للهواء (زيادة التأين).

- التأين الجوي:

الأيون هو عبارة عن جسيم مشحون (ذرة وجزئية) وان وجوده في الغاز أو السائل تجعله وسطاً موصلًا كهربائية. تتولد الأيونات في الجو الأرضي الأسفل بصورة رئيسة من امتصاص جزيئات الهواء للاشعاعات الكونية الثانوية أو من الاشعاعات الصادرة من المواد ذات النشاط الإشعاعي الأرضي. أو من انشطار قطرات الماء أو بالاحتكاك بين جسيمات الثلج أو الرمل بتأثير الرياح ويزداد مفعول الأشعة السينية والأشعة ما وراء البنفسجية القادمتين من الشمس مع الارتفاع حيث تلعبان دوراً مهماً في التأين الشديد للجو على ارتفاعات تتجاوز 50 كم. أما الأشعة الكونية الأولية فتكون قليلة التأين في أعالي الجو بسبب قلة الجسيمات هناك.

إن عملية التأين تتم بامتصاص الجسيمات المتعادلة الشحنة لطاقة اشعاعية أو طاقة حركية من جسيمة ذات طاقة عالية فتتفكك الجزيئة إلى ذراتها مثل N_2 أو O_2 أو أكثر من الجسيمة المتعادلة وتصبح الأخيرة أيوناً موجب الشحنة بتحرر الكترون أما الالكترون فلا يلبث أن يتعلق بجسيمة متعادلة لتصبح أيوناً سالباً أو يتعادل مع شحنة أيون موجب ولاسيما في الجو الأسفل وقد تكون الأيونات صغيرة (الالكترون أو ذرة متأينة مثلاً) كبيرة الانسيابية أو كبيرة وبطيئة الحركة مثل جسيمة التراب أو الجزيئة المركبة أو قطرة الماء أو كتلة الثلج.

وتتسارع الأيونات بالمجال الكهربائي الأرضي مولدة تياراً كهربائياً ولكن متوسط المسار الحر لها قرب سطح الأرض لا يتجاوز (10 انكستروم) (0.001 مايكرون) لذلك فإن هذه الأيونات تعاني الكثير من التصادم العشوائي المتعرج.

وتسير هذه الأيونات بمعدل سرعة انجراف تعتمد على شحنة وكتلة الأيون وعلى شدة المجال الكهربائي الأرضي وعلى متوسط المسار الحر وتعرف الانسيابية (λ) للأيون بأنها النسبة بين سرعة الانجراف وشدة المجال الكهربائي المؤثر عليه. أما التوصيلية الكهربائية فهي النسبة بين كثافة التيار الكهربائي (J) وشدة المجال الكهربائي المؤثر عليه (E) ويرمز لها (σ).

$$J = \sigma E \dots\dots (1)$$

$$V = \lambda E \dots\dots\dots (2)$$

وتشكل الأيونات الصغيرة قرابة ٩٥% من مجموع التوصيلة الكهربائية الجوية. وبما أن الايونات الصغيرة تتدمر باستمرار باتحادها مع أيونات مغايرة في الشحنة أو بالتصاقها بجسيمات هباء كبيرة لذلك فإن سرعة حدوث هذه العمليات يتطلب معرفة الكثافة العددية لهذه الايونات في الجو فيكون تركيز الايونات الصغيرة فوق سطح

البحر أكثر منه فوق اليابسة. ان سرعة اعادة الاتحاد بين الايونات المتبادلة الشحنة تتناسب مع حاصل الانتاج الأيوني مع التدمير الايوني... فان:

$$P = an + bnN \dots (3)$$

حيث (N, n) الكثافة العددية للأيونات الصغيرة والكبيرة على التوالي ومن كل الاشارتين، (a) معامل اعادة الايونات الصغيرة وقيمتة تقارب $(1.6 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{sec})$ في الظروف القياسية، (b) معامل الاتحاد بين الايونات الصغيرة والكبيرة وقيمتة تقارب $(2 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{sec})$ في الظروف القياسية ويشمل الايونات المشحونة منها والمتعادلة ويصبح الحد (an) مهما فوق سطح الأرض (١ كم) أما الحد (bnN) فهو مهم قرب سطح الأرض.

- كهربائية الجو المضطرب:

إن المجال الكهربائي للجو الصافي يكون نحو الأسفل ولكنه يتغير كثيراً عندما يكون الجو مضطرباً فعند وجود الضباب يزداد المجال إلى عشرة اضعاف فيمته المعتادة.. وعند هبوب الزوابع الرعدية فتعطي مجالاً متغيراً يعتمد على الجزء الذي يحدث فيه التفريغ الكهربائي ولكن السحب الركامية النشطة التي تولد الهطول هي المصدر الرئيسي لتوليد الكهرباء الجوية أما السحب الأخرى ولاسيما الثلجية منها فتعتبر مصادر ثانوية للشحنات الكهربائية ولكنها أقل حدوثاً ولغرض دراسة توزيع الشحنات الكهربائية داخل السحب الرعدية هناك طريقتان وهما:

١. طريقة غير مباشرة: وهو قياس المركبة الشاقولية للمجال الكهربائي على سطح الأرض والمتولدة من شحنات السحب على أساس ان السحابة تعتبر ثنائية القطب الكهربائي لها عزم كهربائي قدره (δM) فلو فرضنا ان قمة السحابة تحتوي على شحنة موجبة (δQ) على ارتفاع h_1 وقرب قاعدتها شحنة سالبة

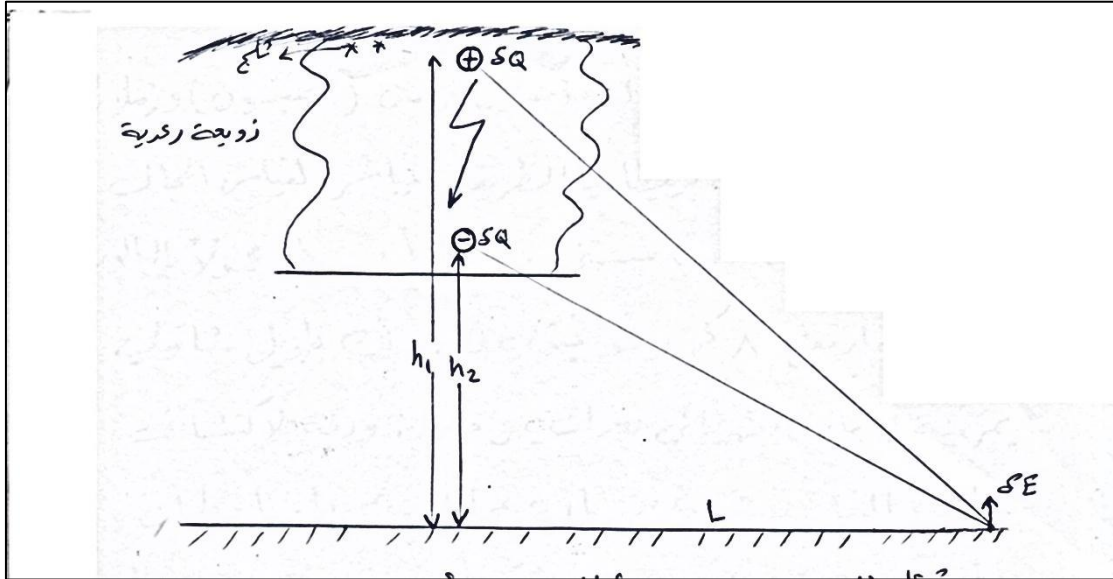
(δQ) على ارتفاع h_2 فان التغير في المجال الكهربائي (δE) على بعد L منها يتم بطريقتين اما بحدوث التفريغ بين السحابة والارض أو من تفريغ داخل السحابة بين مركزي الشحنة. فإذا كان التفريغ بين السحابة والارض فان التغير في المجال الكهربائي (δE) على سطح الأرض يعبر عنه بالمعادلة:

$$\delta E = \frac{2\delta Q h_2}{(h_2^2 + l^2)^{3/2}} \dots\dots(4)$$

فلو كانت الزويدة بعيدة (L اكبر من h) فان المعادلة الاخيرة تصبح:

$$\delta E = \frac{2\delta Q h_2}{(L^3)} = \frac{\delta M}{L^3} \dots\dots(5)$$

حيث $\delta M = \delta Q \cdot 2h_2$ وهو العزم الكهربائي المدمر بعملية التفريغ (شكل رقم ١)



شكل رقم (١) حساب المجال الكهربائي من زويدة رعدية

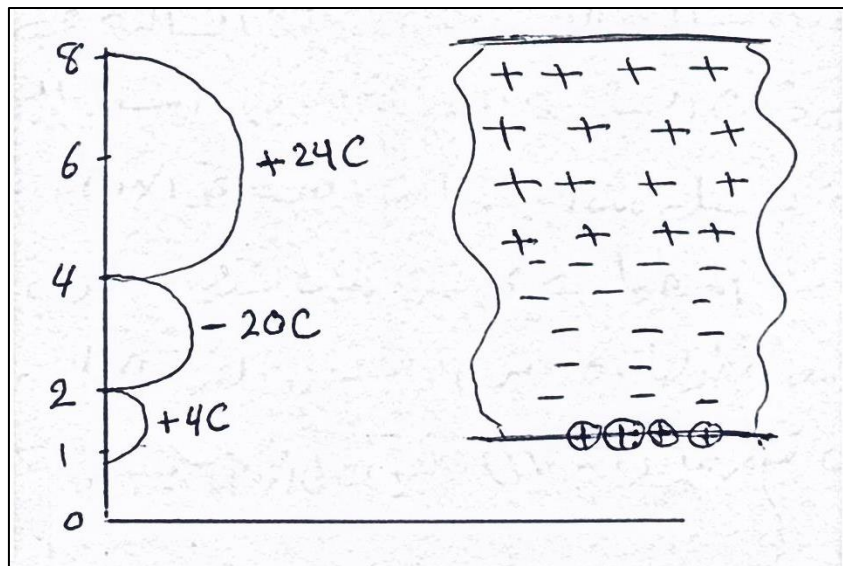
أما لو كان التفريغ الكهربائي قد حصل بين شحنتي السحابة فان التغير في المجال الكهربائي على سطح الأرض يساوي:

$$\delta E = \delta Q \left[\frac{h_2}{(h_2^2 + l^2)^{3/2}} - \frac{h_1}{(h_1^2 + l^2)^{3/2}} \right] \dots\dots(6)$$

فللزوابع البعيدة ($L \gg h$) تصبح المعادلة (6):

$$\delta E = 2\delta Q = \frac{(h_2 - h_1)}{l^3} = \frac{\delta M}{l^3} \dots\dots(7)$$

٢. الطريقة المباشرة: لقد استخدم كل من (سمبسون) وزملائه في مرصد (كيو) في بريطانيا الطريقة المباشرة لقياس المجال الكهربائي داخل السحب مستخدمين جهازاً بسيطاً محمولاً بالبالون ليصل إلى ارتفاع ٨ كم وهو يحتوي على سلك طويل شاقولي يمر فيه التيار الكهربائي بعد أن يمر خلال ورقة لاكتشاف قطبية التيار حيث تكون مطلية بمحلول وعلى طرفيها قطبان من الحديد وبعد دراسة مضنية لأكثر من خمسين سجلاً أظهرت بصورة قاطعة بأن أعلى السحابة يكون موجب على ارتفاع معدله ٦ كم ومعدل الشحنة فيه ٢٤ كولوم (10^{30} س) ومن شحنات سالبة (٢٠ كولوم) بين (٢-٤) كم تصل ذروتها على ارتفاع ٣ كم (10^{28} س) ومن شحنة موجبة ثانوية ٤ كولوم اقل من ارتفاع ٢ كم درجة الحرارة ($10^{1.5}$ س).

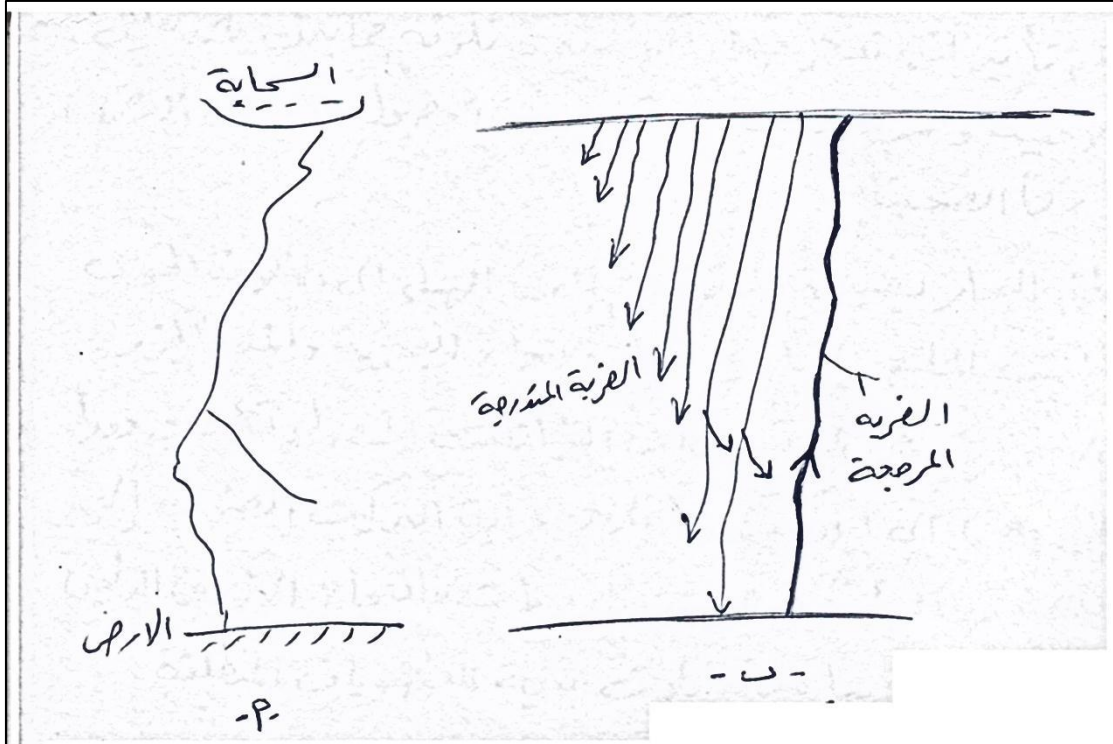


شكل (2) توزيع الشحنات داخل الزوابع الرعدية

- تركيب الصاعقة Lightning Flash:

لقد أمكن توضيح التركيب التفصيلي للصاعقة باستخدام التصوير الخاطف مع تسجيل التغيرات السريعة للمجال الكهربائي المرافق لها ولعل اغلب المعلومات المستحصلة عن الصاعقة كان من استخدام آلة التصوير التي صممها (بويز) عام ١٩٢٦ وهي تتكون اساساً من عدستين لامتين مثبتتين على طرفي ذراع من قرص يدور بسرعة خلف العدستين فتتولد صورتان للعدستين محورتان باتجاهين متعاكسين فيمكن حساب سرعة واتجاه عمليات التفريغ الكهربائي للسحاب. ولقد أظهرت هذه الصور بأن ما يبدو للعين المجردة بأنه تفريغ واحد للبرق الا انه في الحقيقة يتكون من عدد من الضربات المتعاقبة (٤-١٤ ضربة) تسلك نفس المسار في الهواء تفصلها فترات توقف زمني يقارب ٥٠ ملي ثانية مع العلم ان معدل عمر الصاعقة الكلي ٢٥٠ ملي ثانية فاذا كان التفريغ الكهربائي للصاعقة بين السحابة والارض فانها تقوم بنقل شحنة سالبة للارض من المنطقة السالبة في السحابة ويساعدها على ذلك الشحنة الثانوية الموجبة اسفل السحابة وتكون الصاعقة مسبقة بسيل من الشحنات تتجه نحو الارض. وتكون على شكل سلسلة من الخطوات كل منها تكون شديدة البرق بسبب التأين المفاجئ للهواء ومعدل طولها (٥٠ متر) وتسمى الضربة الاولى بالضربة المتدرجة القيادية ويكون قطرها (١ - ١٠م) وهي تصل الارض بسرعة تقارب 3×10^8 م/ثا خلال الخطوة. ويكون معدل سرعة التفريغ الأول أبطأ بسبب التوقفات وتأخذ مساراً متعرجاً ومتشعباً أحياناً متنقلة بين جيوب من الشحنات الفضائية الموجبة والمتوزعة عشوائياً في الهواء ويسمى البرق الناتج بالبرق المتشعب وتقوم الضربة القيادية بتأين الهواء في طريقها لتمهد الطريق للضربة الراجعة من الارض والتي تسلك نفس المسير ولكن بشدة أقوى وسرعة اكبر بسبب تأين المسير. ويعتقد ان العزل الكهربائي للهواء ينهار بواسطة شحنة قيادية من الشحنات ضعيفة

غير منظورة تسبق الضربة المتدرجة الاولى. وعندما تقترب الضربة العائدة من سطح الارض بمسافة ٥ - ٥٠ م ينطلق سيل من الشحنات من نقطة على سطح الارض لكي تقابل الضربة العائدة. ثم تبدأ الضربة المعاكسة الرئيسة بسرعة متجهة نحو السحابة وسالكة نفس المسير المتأين للضربة العائدة. واكثر شدة من الضربة العائدة.



شكل (أ) شكل الصاعقة تصورها آلة التصوير.

شكل (ب) صاعقتان بين السحابة والارض.