2.1. Methods of ionizing air or gas:

2.1.1. Particle Impact Ionization.

2.1.2. Thermal Ionization.

2.1.3. Nuclear Emission.

2.1.4. Photo or Irradiative Ionization.

2.1.5. Electric Field Ionization:

(a) Arc Discharge Ionization.

(b) Corona Discharge Ionization.

2.1.1. Particle Impact Ionization:

When an atom is struck by a particle, such as an electron or an ion, it can lose or gain a charge depending on the amount of energy transferred in the impact. This energy has to exceed the ionization energy $\mathbf{E_i}$ expressed in eV, where e (1.6×10^{-19} Coulombs) is the absolute value of the charge of an electron. In the case of electron impacts, the electron can be absorbed by the atom or it can cause the atom to lose electrons or just excite the valence electrons of the atom. An electron source is required to generate enough electrons to ionize the gas and sustain the electrons so that they last long enough to cause ionization and the electrons have to be accelerated by means of an electric or magnetic field. Electrons released in the ionization process can produce secondary ionization if their energies are high enough. In place of electrons, ions can be accelerated and made to collide with and ionize atoms. Ions are heavier particles and therefore require much more effort to accelerate to attain the required ionization energy. This can be done in a particle accelerator or by means of strong electric or magnetic fields. Nuclear reactions emit ions that have high energies that can be used in ionization of gases. However this is not a safe approach for a study of ionization for supersonic flows.

تأين الجسيمات عن طريق التصادم:

عندما تصطدم ذرة بجسيم ، مثل إلكترون أو أيون ، يمكن أن تفقد أو تكتسب شحنة اعتمادًا على كمية الطاقة المنقولة في التأين. يجب أن تتجاوز هذه الطاقة طاقة التأين E_i المعبر عنها في **eV** ، **(1.6×10^{-19} Coulombs)** حيث ان **(e)**هي القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون. في حالة اصطدام الإلكترون ، يمكن أن تمتص الذرة الإلكترون أو يمكن أن يتسبب في فقدان الذرة للإلكترونات أو فقط تهيج إلكترونات التكافؤ للذرة. مطلوب مصدر إلكترونات لتوليد ما يكفي من الإلكترونات لتأين الغاز والحفاظ على الإلكترونات بحيث تستمر لفترة كافية لإحداث التأين ويجب تعجيل الإلكترونات عن طريق مجال كهربائي أو مغناطيسي. يمكن أن تنتج الإلكترونات المنبعثة في عملية التأين تأينًا ثانويًا إذا كانت طاقاتها عالية بما يكفي. بدلاً من الإلكترونات ، يمكن تعجيل الأيونات وجعلها تتصادم مع الذرات وتتأين. الأيونات هي جسيمات أثقل ، وبالتالي فهي تتطلب المزيد من الجهد لتسريع الوصول إلى طاقة التأين المطلوبة. يمكن القيام بذلك في تعجيل الجسيمات أو عن طريق المجالات الكهربائية أو المغناطيسية القوية. تصدر التفاعلات النووية أيونات ذات طاقات عالية يمكن استخدامها في تأين الغازات.

2.1.2 Thermal Ionization:

All matter above 10,000 K exists in the plasma state. And fire is filled with ions and free radicals. If a gas is heated to suitably high temperatures the energies of the gas constituents become high enough to induce ionization within the medium. The requirement of such high temperatures and the problem of contaminants in air make this an impractical approach for this study.

التأين الحراري:

جميع المواد التي تزيد درجة حرارتها عن 10000 كلفن هي في حالة البلازما. حيث ان اذا تم تسخين الغاز إلى درجات حرارة عالية بشكل مناسب ، فإن طاقات مكونات هذا الغاز تصبح عالية بما يكفي للحث على التأين داخل الوسط. حيث ان التأين يعتبر اخدى طرق للحصول على البلازما.

2.1.3. Nuclear Emission:

Fusion reactions involving hydrogen emit H^+ and He^+ ions with very high energies in the order of **MeV**. Fission reactions of heavier atoms release high energy ions that can cause secondary ionization. However, this method of ionization would not be feasible for a small scale laboratory study. They cannot be adapted safely for application in a shock tunnel.

الانبعاثات النووية:

تفاعلات الاندماج النووي التي تتضمن انبعاث ايونات الهيدروجين H^+ و أيونات الهليوم He^+ مع طاقات عالية جدًا مقاسة بوحدة **MeV**. اما تفاعلات الانشطار للذرات الثقيلة فانها تطلق او تحرر أيونات عالية الطاقة يمكن أن تسبب تأينًا ثانويًا. ومع ذلك ، فإن طريقة التأين هذه تكون غير ملائمة لإجراء دراسة عمليةعلى نطاق صغير.

2.1.4. Photo or Irradiative Ionization:

An ionisable atom can be ionized by the impact of a photon if the photon's energy (***hv)*** exceeds the ionization energy of the atom. Ultraviolet rays, x-rays and gamma rays are preferred for photo ionization. However, if the photon energy is far greater than the threshold ionization energy, the probability of ionization decreases. The degree of ionization is also lower for this method. Due to this fact and also the difficulty in adapting this technique to work in a shock tunnel, it is not viable for ionization of supersonic air.

التأين الضوئي أو الإشعاعي:

يحدث التأين الضوئي بامتصاص فوتونات ساقطة لها طاقة (طاقة الفوتون ***hv***)تساوي أو اكبر من طاقة التأين للذرة الماصة. فالطاقة الفائضة من الفوتون تتحول الى طاقة حركية لتشكل زوج (الكترون ـ ايون). فعلى سبيل المثال تبلغ طاقة جهد التأين للالكترون في ذرة الهيدروجين(13.6 eV) والتي يمكن ان تجهز اشعة طول موجتها أقل من (910 A^o)كالاشعة فوق البنفسجية. ويمكن ان ينتج التأين ايضا بواسطة اشعة X-ray أو كاما والتي لها طول موجي اقل بكثير، وان طبقة الايونوسفير المحيطة بالارض مثلا هي بلازما طبيعية التأين تنتج بهذه الطريقة.

2.1.5. Electric Field Ionization:

This method involves passing the gas in between ionized electrodes. When the atoms or molecules come in contact with the surface of the metal electrodes, they lose or gain a charge subject to the polarity of the electrode. However, the electric field density has to be as high as a few **kV/m** to initiate ionization. The geometry of the electrodes is also important as electric fields around sharp objects and metallic surfaces with low radii of curvature are stronger than around blunt bodies. As the intensity of the electric field is increased, the particles approaching the electrode is ionized before reaching it. The rate of ionization falls off as the intensity of the electric field is decreased. It is thought that at higher pressures and velocities of air, higher electric field strengths will be required. Electric field ionization is preferred because it is easy to generate and control high electric fields in the lab. Geometries of the electrodes can be varied and manufactured as desired. When the intensity of the electric field increases beyond the breakdown potential of the gas، an arc discharge takes place. This is characterized by a heavy flow of current through the gas between the electrodes and high dissipation of energy in the form of heat followed immediately by a loud exploding sound. Although this method can yield high concentration of ions and higher charges of the ions **(2+, 3+, 4+ or higher charges)**, it is not favored because of damage to the electrode and apparatus, electrode heating, instability of the arcs and the high energy dissipation. Corona discharge is on the other hand, a low energy discharge that produces lower density ionization at the cost of a few **mW** of power. It is for this reason of low power consumption that this method of ionization has been adopted for this study

• **I: Townsend discharge,** below the breakdown voltage. At low voltages, the only current is that due to the generation of charge carriers in

the gas by cosmic rays or other sources of ionizing radiation. As the applied voltage is increased, the free electrons carrying the current gain enough energy to cause further ionization, causing an electron avalanche. In this regime, the current increases from femtoamperes to microamperes, i.e. by nine orders of magnitude, for very little further increase in voltage. The voltage-current characteristics begins tapering off near the breakdown voltage and the glow becomes visible.

• **II: glow discharge,** which occurs once the breakdown voltage is reached. The voltage across the electrodes suddenly drops and the current increases to milliampere range. At lower currents, the voltage across the tube is almost current-independent; this is used in glow discharge voltage-regulator tubes. At lower currents, the area of the electrodes covered by the glow discharge is proportional to the current. At higher currents the normal glow turns into abnormal glow, the voltage across the tube gradually increases, and the glow discharge covers more and more of the surface of the electrodes. Low-power switching (glow-discharge thyratrons), voltage stabilization, and lighting applications (e.g. Nixie tubes, decatrons, neon lamps) operate in this region.

• **III: (a) Arc Discharge Ionization,** which occurs in the ampere range of the current; the voltage across the tube drops with increasing current. High-current switching tubes, e.g. triggered spark gap, ignitron, thyratron and krytron (and its vacuum tube derivate, sprytron, using vacuum arc), high-power mercury-arc valves and high-power light sources, e.g. mercury-vapor lamps and metal halide lamps, operate in this range. Glow discharge is facilitated by electrons striking the gas atoms and ionizing them. For formation of glow discharge, the mean free path of the electrons has to be reasonably long but shorter than the distance between

the electrodes; glow discharges therefore do not readily occur at both too low and too high gas pressures.

The breakdown voltage for the glow discharge depends nonlinearly on the product of gas pressure and electrode distance according to **Paschen's law**. For a certain pressure × distance value, there is a lowest breakdown voltage. The increase of strike voltage for shorter electrode distances is related to too long mean free path of the electrons in comparison with the electrode distance. A small amount of a radioactive element may be added into the tube, either as a separate piece of material (e.g. nickel-63 in krytrons) or as addition to the alloy of the electrodes (e.g. thorium), to preionize the gas and increase the reliability of electrical breakdown and glow or arc discharge ignition. A gaseous radioactive isotope, e.g. krypton-85, can also be used. Ignition electrodes and keepalive discharge electrodes can also be employed. The E/N ratio between the electric field E and the concentration of neutral particles N is often used, because the mean energy of electrons (and therefore many other properties of discharge) is a function of **E/N**. Increasing the electric intensity **E** by some factor q has the same consequences as lowering gas density **N** by factor **q**.

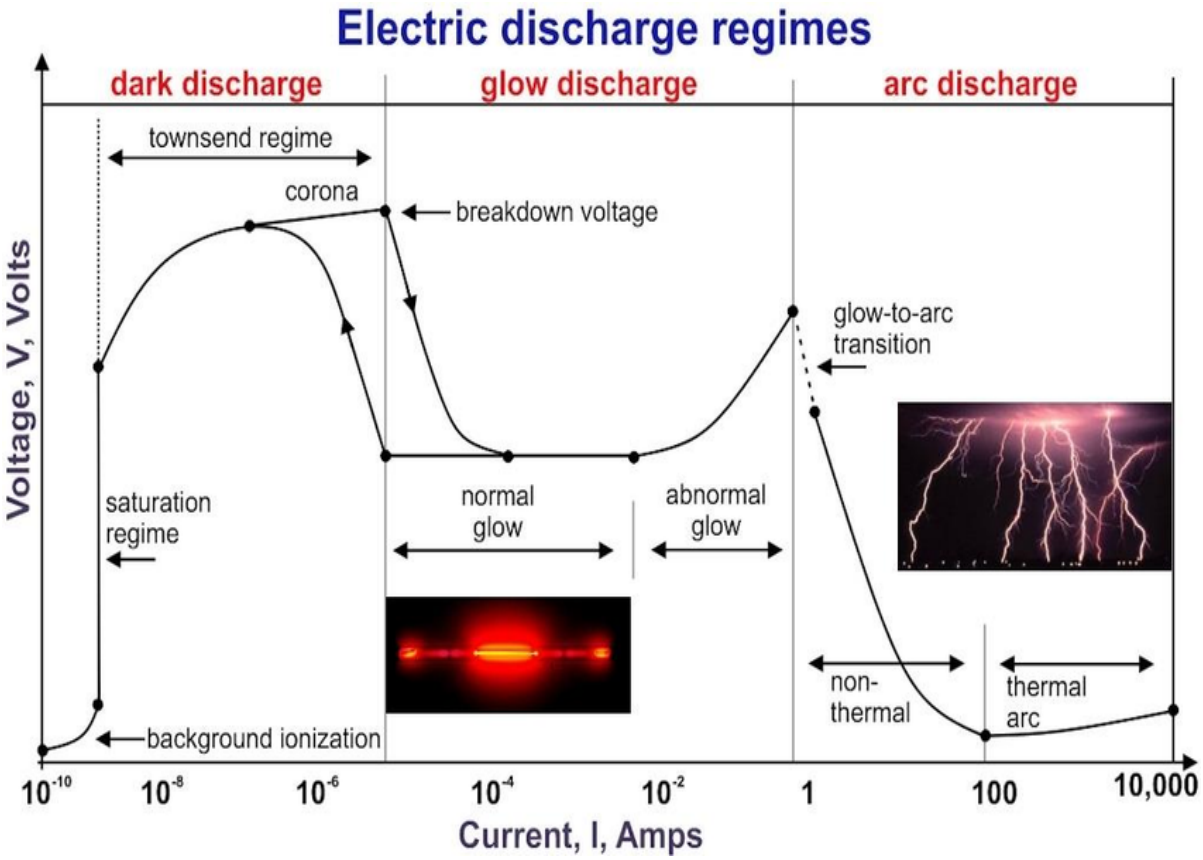

Fig.1. An overview of the different electric discharge regimes possible.

تأين المجال الكهربائي:

تتضمن هذه الطريقة امرار الغاز بين الأقطاب الكهربائية المؤينة. عندما تتلامس الذرات أو الجزيئات مع سطح الأقطاب الكهربائية المعدنية ، فإنها تفقد أو تكتسب شحنة تخضع لقطبية القطب. ومع ذلك ، يجب أن تكون كثافة المجال الكهربائي عالية مثل بضعة كيلو فولت / متر لبدء التأين. تعتبر هندسة الأقطاب الكهربائية مهمة أيضًا لأن المجالات الكهربائية حول الأجسام الحادة والأسطح المعدنية ذات نصف قطر الانحناء المنخفض أقوى من تلك الموجودة حول الأجسام غير الحادة. مع زيادة شدة المجال الكهربائي ، تتأين الجسيمات التي تقترب من القطب قبل الوصول إليه. ينخفض معدل التأين مع انخفاض شدة المجال الكهربائي. يُعتقد أنه عند الضغط العالي وسرعات الهواء ، ستكون هناك حاجة لشدة مجال كهربائي أعلى. يُفضل تأين المجال الكهربائي لأنه من السهل توليد والتحكم في المجالات الكهربائية العالية في المختبر. يمكن تنويع هندسة الأقطاب الكهربائية وتصنيعها حسب الرغبة. عندما تزداد شدة المجال الكهربائي إلى ما بعد احتمال انهيار الغاز ، يحدث تفريغ القوس. يتميز هذا بتدفق كثيف للتيار عبر الغاز بين الأقطاب الكهربائية وتبديد عالي للطاقة على شكل حرارة يليه مباشرة صوت انفجار عالي. على الرغم من أن هذه

الطريقة يمكن أن تنتج تركيزًا عاليًا من الأيونات وشحنات أعلى للأيونات (2+ ، 3+ ، 4+ أو أعلى) ، إلا أنها غير مفضلة بسبب تلف القطب والجهاز ، وتسخين القطب الكهربائي ، وعدم استقرار الأقواس و تبديد الطاقة العالية. من ناحية أخرى ، فإن تفريغ كورونا هو تفريغ منخفض للطاقة ينتج عنه تأين أقل كثافة بتكلفة بضعة ميكاواط من الطاقة. ولهذا السبب من انخفاض استهلاك الطاقة.

تفريغ تاونسندTownsend Discharge: أو جهد الانهيار لتاونسند هو عملية تأين للغاز حيث يتم تسريع (تعجيل) الإلكترونات الحرة بواسطة مجال كهربائي ، وتصطدم بجزيئات الغاز ، وبالتالي تحرر إلكترونات إضافية. هذه الإلكترونات بدورها تتسارع وتحرر إلكترونات إضافية اخرى. والنتيجة هي تضاعف جهد الانهيار الذي يسمح بالتوصيل الكهربائي عبر الغاز. يتطلب التفريغ مصدرًا للإلكترونات الحرة ومجالًا كهربائيًا كبيرًا ؛ بدون كليهما ، لا تحدث هذه الظاهرة. حيث تكون قيمة تيار التفريغ بحدود او اقل من(10^{-6}) امبير.

التفريغ التوهجي Glow Dischargeحيث تكون قيمة تيار التفريغ خلاله بحدود($10^{-1} - 10^{-6}$) امبير. اذا كان ضغط الغاز لا يتجاوز بضعة ملمترات زئبق فمن المحتمل جداً ان يتكون التفريغ التوهجي عند حدوث الانهيار للغاز. تكون قيمة تيار التفريغ الكهربائي المار بحدود بضعة ملي امبير عند تسليط فرق جهد قريب من فولتية انهيار الغاز.

التفريغ القوسيArc Discharge : حيث تكون قيمة تيار التفريغ بحدود(10^{-1}) امبير او اكثر أما اذا كان الضغط كبيراً (قريباً من الضغط الجوي) وكانت مقاومة الدائرة الخارجية واطئة فيمكن ان يتكون التفريغ القوسي عند انهيار الغاز، حيث ان التيار يتحدد اساساً بالدائرة الخارجية، وان فولتية التفريغ تكون واطئة (تعادل بضع عشرات من الفولتات) .كما يمكن الحصول على التفريغ التوهجي عند الضغط الجوي أو أعلى منه بتيار تفريغ اكبر من واحد امبير الا ان التفريغ التوهجي يتحول الى منطقة القوس الكهربائي اذا ازداد أي من الضغط أو التيار.

لتشكيل تفريغ الوهج ، يجب أن يكون متوسط المسار الحر للإلكترونات طويلًا بشكل معقول ولكنه أقصر من المسافة بين الأقطاب الكهربائية ؛ وبالتالي ، فإن التفريغ المتوهج لا يحدث بسهولة عند كل من ضغوط الغاز المنخفضة جدًا والمرتفعة جدًا. يعتمد جهد الانهيار لتفريغ الوهج بشكل غير خطي على ناتج ضغط الغاز ومسافة القطب وفقًا **لقانون باشن**. بالنسبة لقيمة ضغط (p)× مسافة معينة(d)، من الواضح أن هناك حدًا أدنى لجهد الانهيار عند ناتج حاصل ضرب pd معين وإمكانية الانهيار كبيرة لكل من القيم الصغيرة والكبيرة لـ pd. عند قيم pd المنخفضة ، فإن جهد الانهيار يكون مرتفع بسبب عدد قليل جدًا من الاصطدامات وقيم pd عالية ؛ الانهيار الجهد مرتفع بسبب

كثرة الاصطدامات. ان الأهمية لهذا الجهد الأدنى هو أنه مهما كانت الفجوة أو الضغط صغيراً ، فمن المستحيل أن يتكون التفريغ بجهد ما أقل من الحد الأدنى لجهد الانهيار.

Corona Discharge

Corona is derived from the French word for crown. Corona has been known for centuries by mankind, and often had supernatural properties ascribed to it. In Europe, it was known as St. Elmo's fire, named after St. Erasmus, the patron saint of sailors because it was often seen by sailors as a bluish-white flame on top of masts and sails of ships, often after a thunder storm, and was thus seen as a good sign from the gods. It was reportedly seen by many sailors throughout history, including Julius Caesar, Magellan, Columbus and Charles Darwin, on his voyage aboard the H.M.S. Beagle. William Shakespeare even mentioned it in his play "The Tempest." Corona is also seen on aircraft wing tips, propellers and antennae. Corona discharge is seen as a faint glow around high voltage conductors, especially on transmission lines around broken strands.

Corona discharge is used in air purifiers to clean air by ionizing the air. Ozone is a by-product of corona discharge and it is used to kill microbes and neutralize airborne contaminants. Corona discharge on transmission line cause power loss and damage to the conductors and degrade the insulators. Thus power companies spend large sums of money to detect corona discharge on transmission lines and prevent them. Corona discharge on transmission lines has been known to cause radio frequency noise that interferes with communication signals. High frequency antennas are often fitted with a ball at the top to avoid ending in a sharp tip that is prone to corona discharge.

(b) Corona Discharge Ionization:

Corona ionizers use strong electric fields created by applying high voltage to a sharp ionizing point to move the electrons. Due to the decay of trace radioactive elements in soil and air, a few free electrons are always present in the atmosphere. Creation of a high positive electric field accelerates these electrons toward the ionizing point. They collide with air molecules and knock out more electrons on the way, leaving behind many molecules that have lost electrons and become positive ions in a high positive electric field. This field repels them from the ionizing point, presumably toward the area where they are needed for charge neutralization. Similarly, a negative electric field sends free electrons away from the ionizing point into collisions with gas molecules that generate more free electrons that are captured by neutral gas molecules near the ionizing point. The negative ions created are repelled by the negative electric field.

تأين تفريغ Corona: يستخدم مجالات كهربائية قوية يتم إنشاؤها عن طريق تسليط جهد عالٍ على نقطة مؤينة حادة لتحريك الإلكترونات. بسبب اضمحلال العناصر المشعة في التربة والهواء ، توجد دائمًا بعض الإلكترونات الحرة في الغلاف الجوي. يؤدي تكوين مجال كهربائي موجب عالي إلى تعجيل هذه الإلكترونات نحو نقطة التأين. تتصادم مع جزيئات الهواء وتصطدم بالمزيد من الإلكترونات التي في طريقها تاركة وراءها العديد من الجزيئات التي فقدت الإلكترونات وأصبحت أيونات موجبة في مجال كهربائي عالي الموجب. هذا المجال يصدهم من نقطة التأين ، ويفترض نحو المنطقة التي يحتاجون إليها لتحييد الشحنة. وبالمثل ، يرسل المجال الكهربائي السالب الإلكترونات الحرة بعيدًا عن نقطة التأين لتصطدم بجزيئات الغاز التي تولد المزيد من الإلكترونات الحرة التي يتم التقاطها بواسطة جزيئات الغاز المحايدة (المتعادلة) بالقرب من نقطة التأين. يتم صد الأيونات السالبة الناتجة عن المجال الكهربائي السالب.