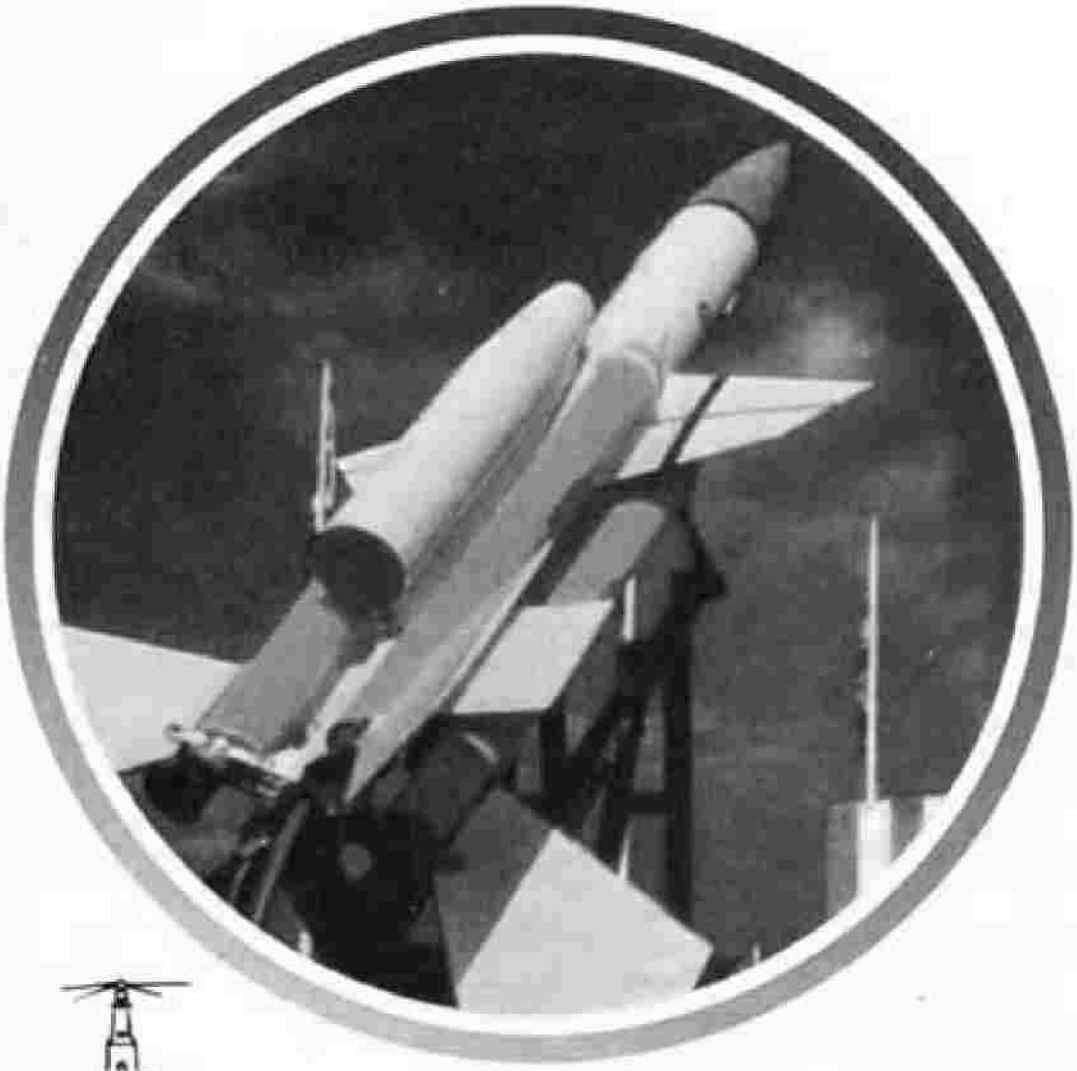
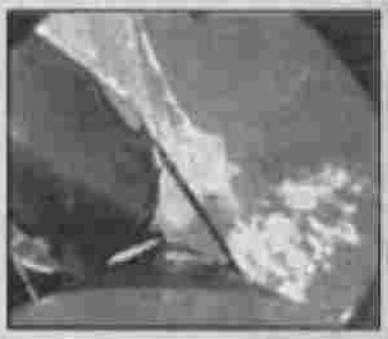
حكايات علمية

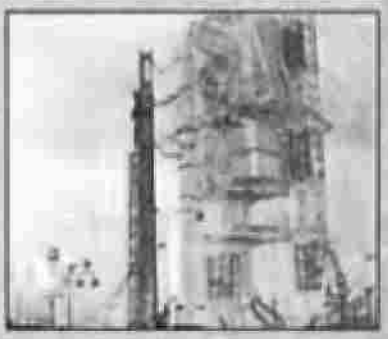
٢١

البلازما والصواريخ

دكتور مهندس / حميد محمود والى







دار المعارف

حكايات علمية

٢١

البلازما والصواريخ

دكتور مهندس/ سمير محمود والى

دار المعارف

نقابة المهن الهندسية

عاد الأب من عمله منهكا وارتمى على أقرب كرسى فى منزله ليستريح وهو ينادى على زوجته قائلاً: يا زوجتى العزيزة، أرجو أن تعدى لى طعام الغداء، ريثما أطالع صحف اليوم.

وبينما الأب يقرأ الجريدة اليومية باهتمام نادى محمد أخته أمانى قائلاً: هيا بنا يا أمانى لنتناول طعام الغداء مع أبينا، سمع الأب نداء أبنه محمد لأخته فناداه قائلاً: يا محمد.. يا أمانى احضرا هنا.

قالت أمانى: خيراً يا أبى؟

قال الأب: هذا إعلان فى الجريدة نشرته نقابة المهن الهندسية عن محاضرة يلقيها خبير أجنبى الساعة السادسة من مساء بعد غد فى مقر النقابة عن فرع جديد من العلوم الهندسية يسمى (البلازما) وسوف يتناول فيها هذا الخبير التطبيقات الهندسية لبلازما، وكما تعلمون أننى عضو بنقابة المهن الهندسية لأننى مهندس كهرباء، وأنت يا محمد تريد الالتحاق بكلية الهندسة – كما أخبرتنى من قبل – فلماذا لا نحضر أنا وأنت وأختك أمانى هذه المحاضرة سوياً؟!

قال محمد: إن ابن خالتنا مصطفى يرغب هو الآخر فى دخول كلية الهندسة، فلماذا لا نصحبه معنا؟

قال الأب: لا مانع لدى.. قاطعت الأم الحديث قائلة: لقد سمعت حواركم واعتقد أنى سمعتكم تتحدثون عن محاضرة فى نقابة المهن الهندسية عن علم يسمى (البلازما) قال الأب نعم ردت الأم قائلة: ولكن البلازما– على ما أعتقد– هى علم يخص نقابة الأطباء لا نقابة المهن الهندسية لأن البلازما هى أحد مكونات الدم البشرى. ضحك الأب قائلاً: نعم هذا تشابه أسماء فكلمة بلازما باللغة الإنجليزية Plasma لها عدة معان، ففى مجال الطب معناها مصل الدم وفى مجال التعدين معناها: نوع من أنواع العقيق الأخضر وفى مجال الفيزياء والهندسة الكهربائية معناها: التأين العالى.

قال محمد وأمانى فى نفس واحد: أريد أن أسأل سؤالاً يا أبى.

رد الأب: سأجيبكم على أسئلتكم ولكن بالدور، لنبدأ بسؤال أمانى أولاً، قاطعه محمد قائلاً: ولماذا لا يكون سؤالى أنا الأول؟

قال الأب" لأن أختك فتاة ومن الأدب أن نبدأ بالفتيات. قال محمد فى صوت منخفض هكذا الأمور دائماً.

وجه الأب سؤاله إلى أمانى قائلا: ما هو سؤالك يا أمانى؟

قالت أمانى: كيف يكون للكلمة الإنجليزية الواحدة عدة معان؟!

قال الأب: هذا هو الفرق بين اللغة الإنجليزية واللغة العربية، فاللغة العربية لغة غنية وثرية بمفرداتها ومرادفاتها فتجد مثلاً الأسد له فى اللغة العربية أسماء عديدة تربو على الخمسين اسماً مثل: الغضنفر– الورد– الليث – الضرغام– أسامة– الهزبر– السبع– الضيغم– القسورة – الغاضرة– الرئبال. الخ.فى حين فى اللغة الإنجليزية ليس له سوى اسم واحد وهو lion وبالعكس نجد أن اسما واحد فى اللغة الانجليزية مثل اسم spring له أكثر من معنى فى اللغة العربية فهذا الاسم يعنى الربيع أو ينبوع أو سوسته، وهكذا نجد أمثلة كثيرة على ثراء اللغة العربية مقارنة باللغات الأخرى، ولعل هذا هو السبب الذى من أجله أنزل الله سبحانه وتعالى القرآن باللغة العربية (إنا أنزلناه قرآناً عربياً)، فلعلى – يا أماني– قد أجبتك على سؤالك، قال محمد: إذن على الدور لتجبنى إلى سؤالى، قال الأب: حبا وكرامة ما هو سؤالك يا محمد؟

قال محمد: ما معنى كلمة التأين العالى التى ذكرتها كتفسير لكلمة البلازما؟

قال الأب: البلازما هى الحالة الرابعة للمادة.

قال محمد: يا أبى إننا لا نعرف غير ثلاث حالات للمادة فقط، وهى الحالة الصلبة والحالة السائلة والحالة الغازية، ولكننا لا نعرف حالة رابعة للمادة.

قال الأب: إنها الحالة المتأينة التى تتحول فيها كل ذرات المادة إلى أيونات.

وهنا رن جرس الباب ففتحت الأم لتجد مصطفى ابن أختها فصاحت: يا محمد يا أمانى هذا مصطفى ابن خالتكم قد وصل.

قال محمد: قد وصلت يا مصطفى فى التوقيت المناسب تعال لتشارك فى هذا الحديث الممتع، قال مصطفى: وما هو موضوع الحديث؟

قال الأب: نحن نستكمل حديثنا عن الذرات المتأينة للمادة ريثما يقص عليك محمد ما فاتك من حديث.

سألت أمانى: وما هى الأيونات؟

رد الأب: الأيونات هى أى ذرة من المادة فقدت أو اكتسبت الكترونا.

قالت أمانى: وكيف تكتسب الذرة أو تفقد إلكتروناً؟

رد الأب: هذا هو موضوع المحاضرة التى سنحضرها فى نقابة المهن الهندسية.

تدخل مصطفى فى الحديث قائلاً: لقد ذكرت يا عمى أن اللغة العربية لغة ثرية وغنية بمفرداتها ومرادفاتها مقارنة بأى لغة أخرى. فما هو السبب فى ذلك؟

رد الأب قائلاً: ذلك يرجع إلى تاريخ اللغة العربية فقبل الإسلام- كما تعلم يا مصطفى- كان العرب مجموعة من آلاف القبائل المنتشرة فى الجزيرة العربية شمالاً حتى الشام وجنوباً حتى اليمن وشرقاً حتى حدود إيران حالياً، وكان لكل قبيلة مفرداتها ومرادفاتها للغة العربية لدرجة أننا نستطيع القول بأن كل قبيلة كان له لهجتها أو لغتها الخاصة، وحين جاء الإسلام ووحد كل هذه القبائل فى دولة إسلامية واحدة تضمن هذا التوحيد جميع كل المفردات والمرادفات لهذه القبائل وضمها إلى لغة واحدة فأصبحت اللغة العربية مجموع آلاف من المرادفات والمفردات للغة وبذلك تفوقت على أى لغة أخرى.

قال مصطفى: ولكن بأى لهجة نزل القرآن؟

قال الأب: باللهجة القريشية نسبة إلى قبيلة قريش وتكريما لها.

قال مصطفى: ولكن المرادفات والأسماء التى ذكرتها للأسد لا أفهم معناها أو مضمونها فهل هذه الأسماء لها دلالات خاصة، أم إنها مجرد ألفاظ بلا دلالة.؟

قال الأب: بل كل اسم له دلالته.

سألت أمانى: أعط لنا أمثلة لهذه الدلالات.

قال الأب: مثلا لفظ الضيغم هو من الاسم: ضغم، والضغم هو العض وبناء على ذلك فالضيغم معناها كثير العض، أما لفظ قسورة فيأتى من الفعل قسر ومعناه أجبر فيأتى لفظ قسورة بمعنى أنه الذى يرغم غيره على الأفعال.

سأل محمد: وما معنى الغاضرة؟!

أجاب الأب: الغاضرة هو من يلزم ويكون دائماً فى أماكن تجمع الحشائش والخضرة.

قالت أمانى: ولكننا لا نريد أن نفقد الموضوع الرئيسى فى مناقشتنا وهو (البلازما)

أجاب الأب: لن نفقده يا أمانى وفى المحاضرة التى ستلقى فى السادسة من مساء بعد الغد سيوضح لنا الخبير الأجنبى كل تفصيلات البلازما.

صاح الجميع: نحن فى شوق وانتظار لذلك.

البلازما

فى الساعة السادسة تماما، وفى القاعة الكبرى لنقابة المهن الهندسية، تجمع حشد كبير من المهندسين وأيضاً من المهتمين بسماع محاضرة الخبير الأجنبى عن هذا الفرع الجديد والمثير من العلوم الهندسية والفيزيائية لمعرفة ما هى تطبيقات العملية فى حياتنا اليومية.

وفى الميعاد المحدد بدأ الخبير محاضرته قائلاً:

قد يكون بعض الحاضرين على علم بأن الغازات المتأينة عادة ما تسمى (بلازما) ولكن قد يكون معظمهم لا يعلم مدى علاقة علم البلازما بعلوم أخرى عديدة مثل علوم: الميكانيكا وخواص المواد الهندسية والكهربية والديناميكا الحرارية وأيضاً علم ميكانيكا الموائع، وهذه العلوم الخمسة السابق ذكرها تشكل أساس علم ميكانيكا الموائع المغنطيسية، وعلم الميكانيكا هو العلم الذى يبحث ويدرس الأجسام من حيث سكونها وحركتها لذا فهو ينقسم إلى قسمين: القسم الأول هو علم الاستاتيكا وهو الذى يختص بدراسة الأجسام الساكنة.

أما القسم الثانى فهو علم الديناميكا وهو الذى يختص بدراسة الأجسام المتحركة، أما علم الديناميكا الحرارية فهو ذلك العلم الذى يختص بدراسة حركة الحرارة فى الأجسام المختلفة، ويختص علم ميكانيكا الموائع بدراسة حركة الموائع وسكونها والموائع هو اللفظ المستخدم للغازات والسوائل فقط، لذا نجد أن علم ميكانيكا الموائع المغنطيسية هو العلم الذى يدرس حركة وسكون الغازات والسوائل التى تتأثر بالمجالات المغنطيسية وتكون موصلة للتيار الكهربائى تحديداً مثل عنصر الزئبق وكذا الغازات المائية أى البلازما، وأعتقد أن ذلك يوضح العلاقة بين علم ميكانيكا الموائع المغناطيسية وبين البلازما.

الأضواء القطبية الشمالية

والبلازما ليست من صنع الإنسان فقط فهى موجودة فى الطبيعة بكثرة لكننا لا نعيرها انتباهنا فمثلاً الأضواء القطبية فى القطب المتجمد الشمالى ما هى إلا ظاهرة من إحدى ظواهر البلازما كما يبدو فى (شكل رقم ١) والتى هى عبارة عن توضيح عملى وطبيعى للتوصيل

الكهربائى فى الغازات المخلخلة الموجودة فى طبقات الجو العليا، ويحدث هذا التوصيل الكهربائى نتيجة لتأين الهواء فى طبقات الجو العليا وحركته فى مجال مغنطيسى تصل شدته إلى حوالى ٠.٣ جاوس وهو بذلك يعتبر مجال ذو شدة ضعيفة، والجاوس هو وحدة قياس المجالات المغنطيسية.

وليست الأضواء القطبية الشمالية هى الظاهرة الطبيعية الوحيدة للبلازما بل أن البرق أيضاً هو أحد هذه الظواهر، فالبرق هو تفريغ كهربائى هائل عند الضغط الجوى العادى نتيجة وجود جهد كهربائى يصل غلى ١٠٠ مليون فولت يتكون فى السحاب نتيجة احتكاك السحاب بالهواء أو ببعضه البعض فتتكون شحنة فى السحاب نتيجة احتكاك السحاب بالهواء أو ببعضه البعض فتتكون شحنة كهربية استاتيكية (أى ساكنة)، ونتيجة لهذا الجهد الكهربائى الهائل فإن تيارا كهربائياً كبيراً تتراوح قيمته ما بين ١٠٠٠٠٠ إلى مليون أمبير يمر بين السحاب وبين الأرض مسبباً ظاهرة البرق.

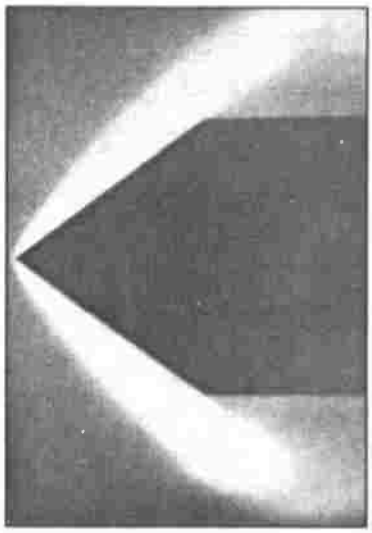
وبجوار الأضواء القطبية والبرق نجد أن المحيطات أيضاً تحتوى على مياه مالحة بكميات ضخمة وهذه المياه المالحة موصلة للتيار الكهربائى مثل الغازات المتأينة، وفى حقيقة الأمر فإن كوكب الأرض بل والمجموعة الشمسية كلها غارقة فى بحر حقيقى من الشحنات المتأينة أو بعبارة أخرى فى بحر من البلازما وتعتبر الشمس أقوى مثال طبيعى على البلازما حيث تكون البلازما موجودة على سطح وفى داخل قلب الشمس حيث تصل درجة حرارة سطح الشمس إلى حوالى ٦ آلاف درجة كلفن، وتصل درجة حرارة قلب الشمس على حوالى ١٠ مليون درجة كلفن. وبالطبع فإن هذه الحرارة العالية تعمل على تأين ذرات المواد الموجودة على سطح وفى قلب الشمس وبذلك تتكون البلازما.

وإن كان كل ما سبق ذكره هو أمثلة على تكون البلازما التى كونتها الطبيعة، فإن الإنسان أيضاً استطاع تقليد الطبيعة، وتكوين بلازما من صنع الإنسان، والأمثلة على ذلك كثيرة ومتعددة مثل:

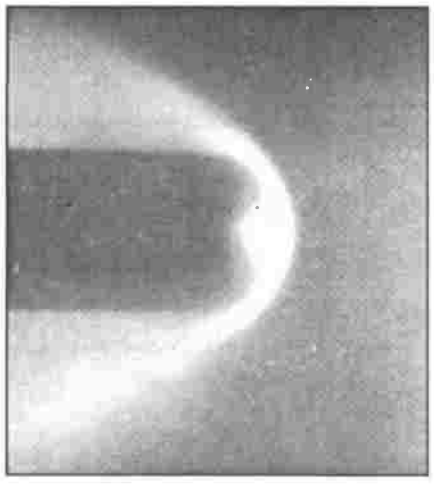
- البلازما المتكونة نتيجة للحرارة العالية التى تصل إلى حوالى ٠.٧ مليون درجة كلفن عند تفجير القنبلة النووية، والتى تصل إلى ١٠٠ مليون درجة كلفن عند تفجير القنبلة الهيدروجينية.
- شعلة البلازما المستخدمة فى أغراض اللحام بمصانع الصواريخ- كما يبدو فى (شكل رقم ٢).

- فـى مجـال التصـميم لأجسـام الطـائرات والصـواريخ يجـب أن يكـون انسـيابياً، ونتيجـة للسرعات العالية التى يتم تصميم الطائرات الحديثة عليها، فإن علم الديناميكا الهوائية يتطلب أن يتم التحكم فى شكل وسرعة طبقة الهواء المتاخمة لجسم الطائرة أو الصاروخ، لذا فإنه بالاستعانة بالمجالات المغنطيسية يتم تعديل سرعة وتدرج درجة الحرارة على الطبقة الهوائية المتأينة والمتاخمة لجسم الطائرة أو الصاروخ، ويوضح (شكل رقم٣) (صدمة بلازما) متولدة فى أنبوبة صدمات كهرومغنطيسية، أما (شكل رقم ٤) فيوضح شكل انحناءة قوس البلازما بدون مجال مغنطيسى (شكل رقم ٤ أ) وباستخدام مجال مغنطيسى (شكل رقم ٤ ب) ويلاحظ فيه تأثير المجال المغنطيسى فى نقل انحناءة قوس البلازما عن مكانها، ويمكن أن تكون هذه الانحناءة فى البلازما ناتجة عن مقدمة الطائرة أو الصاروخ.

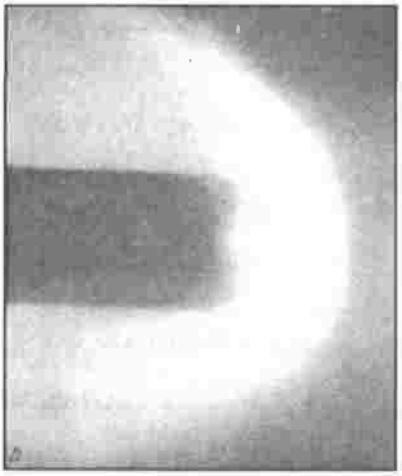
شكل رقم (٢) شعلة البلازما المستخدمة فى اللحام المتخصص



شكل رقم (٣) صدمة بلازما متولدة فى أنبوبة صدمات كهرومغنطيسية



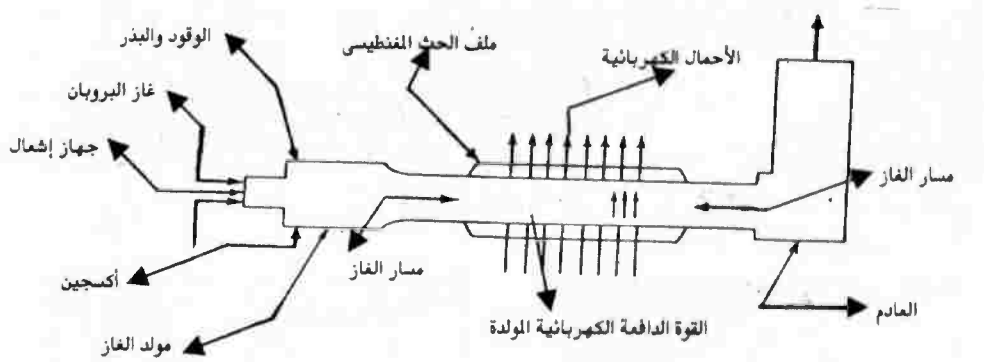
شكل رقم (٤ أ) بدون مجال مغنطيسى



شكل رقم (٤ ب) بالمجال المغنطيسى

منظر لشكل إنحناءه قوس البلازما على مقدمة الطائرة أو الصاروخ

قامت بعض الدول مثل الولايات المتحدة الأمريكية وإنجلترا وفرنسا واليابان والاتحاد السوفيتى (سابقا) باستخدام تكنولوجيا البلازما فى تطوير نوع جديد من المعدات يقوم بتوليد الطاقة الكهربية ويوضح (شكل رقم٥) تخطى لأسلوب توليد الكهرباء بالمغنطة الديناميكية الحرارية باستخدام بلازما تمر بسرعة عالية من خلال مجال مغنطيسى فيتم توليد الكهرباء. وتمتاز هذه الطريقة على سائر وسائل توليد الكهرباء بأنها تحقق كفاءة عالية تصل إلى ٥٥% مقارنة بـ٤٥% للوسائل الأخرى بما فيها المولدات التى تعمل بالطاقة النووية.



شكل رقم (٥) توليد الكهرباء باستخدام تكنولوجيا البلازما بأسلوب المغنطة الديناميكية الهيدروليكية

هذا إلى جانب عديد من التجارب والتطبيقات العملية للبلازما فى الصناعة بمختلف فروعها.

وقدى كون من الضرورى أن نوضح كيف يتم تأيين الغازات، حيث أن الغازات تتأين بتسعة طرق هى:

١- التأين باصطدام الإلكترونات:

يمكن لأى جزىء مادة أن يتأين ويصبح أيوناً- أى يفقد ألكترون أو يكتسب إلكترون- وذلك إذا اصطدم به إلكترون، وكى يتم هذا التأين يجب أن تكون الطاقة المصاحبة لهذا الاصطدام لا تقل عن كمية محددة. وبالطبع تختلف هذه الكمية من مادة إلى مادة.

٢- التأين باصطدام ذرة متعادلة أو أيون موجب:

بالمقارنة بالتأين بالإلكترونات فإن الأيونات الموجبة عموما غير قادرة على عمل تأين نتيجة لعملية الاصطدام، ولكن بعض الأيونات الموجبة النشطة مثل جزئيات ألفا تعتبر من العوامل المؤينة لأن وزنها يقارب وزن الذرات أو وزن جزئيات الغاز، وعموماً فإن احتمال حدوث تأين بواسطة اصطدام الأيونات هو أقل احتمالا.

٣- التأين بالإشعاع

يمكن للفوتونات الضوئية إحداث تأين فى الذرة، إذا بلغت طاقتها حدا معيناً، ونفس الخاصية تمتلكها أى إشعاعات أخرى ذات ترددات عالية للغاية حيث يمكنها إحداث تأين إذا بلغت أيضاً طاقتها حدا معيناً.

٤- التأين بالاصطدام الثانوى

يحدث هذا النوع من التأين إذا تم- على سبيل المثال٠ خلط غازين بعضهما البعض، فإذا تأين أحد هذه الغازات لسبب أو لآخر فإن الطاقة المنبعثة من هذا الغاز تسبب تأينا للغاز الآخر.

٥- التأين المتراكم

يقصد بهذا النوع من التأين حدوث تأين على مرحلتين أو أكثر، فإن تم تأين ذرة بإحدى الطرق السابق ذكرها فإنه من المحتمل أن يتم تأين باقى كمية الغاز بطريقة أخرى غير التى بدأت بها أول ذرة عملية تأينها.

٦- التأين بواسطة المجالات الكهربية عالية التردد

إذا تعرض غاز ما لمجال كهربائى متردد ذى ذبذبة عالية فإن ذلك يكسب الإلكترونات فى هذا الغاز طاقة عالية تسبب تأين الغاز بأكمله.

٧- التأين الحرارى

إن ارتفاع درجة حرارة الغاز يسبب طاقة حركية زائدة للالكترونات بها، وهذه الحركة النشطة للالكترونات يمكن أن تؤدى إلى خروج هذا الألكترون من الذرة وبذلك تصبح الذرة التى كان هذا الألكترون متواجداً بها تصبح أيونا موجباً وبذلك يتم التأين بواسطة الطاقة الحرارية.

٨- التأين السطحى

عند سقوط ذرة متعادلة كهربائياً على سطح ساخن فإنها من المحتمل أن تفقد أحد الالكترونات الموجودة فى مدارها الخارجى وتتحول بذلك إلى أيون وهذه العملية تحدث بكفاءة وغزارة إذا كان هذا السطح الساخن هو سطح أحد المعادن القلوية (مثل الصوديوم)

٩- ارتباط الإلكترونات

يمكن لذرة غاز متعادل كهربائياً أو جزئى هذا الغاز أن يرتبط ويتعلق بإلكترون، وفى هذه الحالة تصبح هذه الرابطة عبارة عن أيون سالب.

وتعتمد جميع هذه الوسائل المذكورة على تواجد إلكترونات، ومن المعلوم أن الالكترونات تتواجد فى طبقة الجو العليا المسماة (أيونوسفير) بكثافة عالية طبقاً للجدول التالي:

الارتفاع بالكيلو متر	كثافة الإلكترونات لكل سنتيمتر مكعب
٦٠ – ١٠٠	١.٥×١٠^{٤}
٩٠ – ١٢٠	١.٥×١٠^{٥}
١٦٠ – ٢٢٠	٢.٥×١٠^{٥}
٢٥٠ – ٥٠٠	١.٥×١٠^{٦}
حوالى ٦٠٠	٣×١٠^{٦}

كما تتواجد الالكترونات أيضاً فى لهب عادم الصواريخ بكثافة حوالى ١ × ١٠ ٦ إلكترون لكل سنتيمتر مكعب والبلازما تتكون من إلكترونات (سالبة الشحنة) وأيضاً من أيونات موجبة الشحنة، وبالطبع فإن النسبة بين هذه الألكترونات وبين الأيونات الموجبة تتغير من تطبيق إلى تطبيق آخر، فإذا كانت هذه النسبة ١: ١ أى أن عدد الإلكترونات يساوى عدد الأيونات الموجبة سميت (البلازما المتعادلة) أما إذا زاد عدد الإلكترونات عند عدد الأيونات الموجبة أو إذا زاد عدد الأيونات الموجبة عن عدد الإلكترونات فإن البلازما تصبح غير متعادلة.

وهنا قال الخبير أنه يسمح باستراحة قصيرة لمدة ربع ساعة حتى يتمكن الحاضرون من تناول المرطبات وإجراء المناقشات الجانبية.

وأثناء تلك الاستراحة توجه محمد إلى الخبير الأجنبى وسأله: هل البلازما موصلة للتيار الكهربائى؟

أجابه الخبير: بالطبع فهى موصل جيد للكهرباء ويمكنك إجراء تجربة بسيطة للتأكد من ذلك بأن تحضر بطارية جافة ولمبة وتوصلهم على التوالى وفى النهاية لا تلمس الأطراف المتاحة من أسلاك هذه الدائرة (سلك من طرف البطارية وسلك من طرف اللمبة) بعضهما ببعض بل ضعهم بجوار بعض وبينهم مسافة صغيرة حوالى نصف سنتيمتر، ثم أشعل لهب ولاعة أو كبريت فى هذه المسافة، تجد أن اللمبة تضىء ومعنى ذلك أن البلازما (وفى هذه الحالة هى لهب الولاعة أو لهب عود الكبريت أو الشمعة) قد قامت بمهمة التوصيل الكهربائى بين أطراف هذه الدائرة الكهربائية، ولكن أعتقد أنه قد حان الوقت لاستئناف المحاضرة.

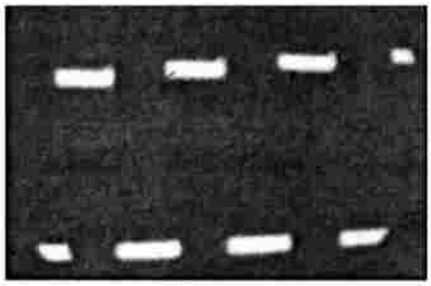
استأنف الخبير محاضرته قائلاً: كما تعلمون فإن البلازما تعتبر موصلاً جيداً للغاية للتيار الكهربائى ولكنها لها خاصية مميزة بالنسبة لمدى سماحها للموجات الكهرومغنطيسية بالنفاذ من خلالها وهى أنها يمكن أن يكون تصرفها أحد البدائل التالية:

١- تسمح لأطوال معينة من الموجات الكهرومغناطيسية بالنفاذ من خلالها دون أن تشوه الشكل الموجى أو تمتصه أو حتى تسبب اضمحلال لشدة الموجة.

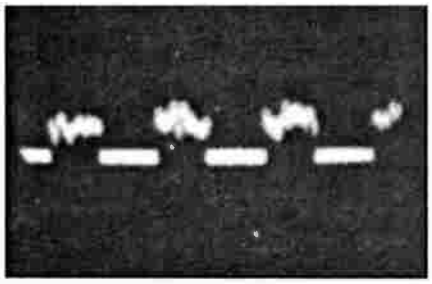
٢- تحجب أطوالا معينة من الموجات الكهرومغنطيسية ولا تسمح لها بالنفاذ من خلالها إطلاقا.

٣- تسمح أطوال أخرى محددة من الموجات الكهرومغنطيسية بالنفاذ من خلالها ولكن بعد أن تسبب لها تشوها فى شكل الموجة واضحملالا فى شدتها، ويوضح شكل رقم ٦ أ

منظر لشكل موجة الكهرومغنطيسية على هيئة نبضات توجيه لصاروخ قبل مرورها فى منطقة بلازما، أما(شكل رقم ٦ ب) فيوضح نفس الموجة بعد أن غبرت من خلال البلازما وقد تشوهت واضمحلت.



شكل ٦ (أ) موجه كهرومغنطيسية على هيئة نبضات قبل مرورها من البلازما



شكل ٦ (ب) نفس الموجه بعد مرورها وأضمحلالها

ولعل بعض الحاضرين يودون معرفة أسماء بعض الغازات التى يكون فيها تكوين البلازما نمطياً.. لا بأس فغازات الأكجسين والنيتروجين وغاز الأرجون وأيضاً الهواء، تبدأ حدوث ظاهرة التأين الشبة كامل أو البلازما ابتداء من درجات حرارة ٥٠٠٠ درجة كلفن (مطلقة) وحتى درجة ١٥٠٠٠ درجة كلفن، حيث تكون درجة التوصيل الكهربائى عند هذه الحرارة عالية وتتراوح بين ٠.١ إلى ٨٠ موهو لكل سنتيمتر (الموهو هو وحدة قياس التوصيل الكهربائى) وفى بعض التطبيقات مثل توليد الكهرباء باستخدام تكنولوجيا البلازما بأسلوب المغنطة الديناميكية الهيدروليكية الموضحة سابقاً قد يحتاجون إلى زيادة التوصيل الكهربائى للبلازما، وفى هذه الحالة تستخدم عملية اسمها (بذر السيزيوم) والسيزيوم هو أحد العناصر الخفيفة التى تبلغ كثافتها ١.٩ جرام لكل سنتيمتر مكعب وتبلغ درجة انصهاره ٢٨ درجة مئوية (أى يمكن أن ينصهر فى درجة حرارة الجو العادية) وتبلغ درجة غليانه ٦٩٠ درجة مئوية وهو أحادى التكافؤ، وعملية تبرد السيزيوم هو تحويل هذا العنصر إلى بودرة ناعمة للغاية ونثرها أو (بذرها) داخل البلازما حيث يؤدى ذلك إلى تحسين خواص البلازما بالنسبة للغرض المطلوب.

وقد اكتفى الخبير الأجنبى بهذا القدر من المعلومات وأنهى محاضرته عند هذا الحد.

خرج الجميع من المحاضرة وهم يتناقشون فيما ذكره الخبير من معلومات وفى أن الدول العربية كلها لم تمارس هذا التخصص نظرياً أو علمياً إلا بقدر ضئيل للغاية، وقد سمع محمد هذا الحوار من بعض الحاضرين فتدخل قائلاً: إن هذا النوع من العلوم تنحصر فائدته فى علوم الصواريخ ومولدات الطاقة الكهربية باستخدام البلازما وفى بعض الصناعات المتطورة، ونحن ليس عندنا فى الدول العربية مثل هذه التكنولوجيات، فردت أمانى عليه قائلة: نعم نحن ليس عندنا صناعة صورايخ أو مولدات من هذا النوع ولكن ذلك لا يمنع أن يتزود الشباب بمثل هذه المعلومات استعداداً للقرن الحادى والعشرين فما هو غير متاح الآن قد يكون من الممكن غدا، رد عليها محمد قائلاً: نحن لا نعرف شيئاً أساساً عن الصورايخ فكيف لنا أن نعرف عن مهمة البلازما فى الصواريخ، هنا سمع الجميع صياح مصطفى قائلاً: يا محمد.. يا أمانى تعالوا أنظروا.. هذا إعلان على لوحة الإعلانات بالنقابة يعلن عن محاضرة أخرى عن الصواريخ الأسبوع القادم يلقيها خبير أخر، ما رأيكم هل نحضر سوياً؟

صاح الجميع.. مدهش.. يا لها من صدفة غريبة لا يجب أن تفوتنا، صاح مصطفى: إذن أنا سأغادر النقابة غلى منزلنا وإلى اللقاء جميعاً الأسبوع القادم يوم الاثنين الساعة السادسة مساء فى قاعة المحاضرات بالنقابة.

صاح الجميع: إلى اللقاء يا مصطفى..

الصورايخ

لم تمض على هذه المناقشة سوى بضعة أيام حتى حل يوم الاثنين، وفى تمام الساعة السادسة وفى قاعة المحاضرات الكبيرة بنقابة المهن الهندسية، اجتمع شمل المجموعة المكونة من محمد وأمانى ووالدهما و معهم ابن خالة محمد وأمانى.. مصطفى، وكانت القاعة بها حشد كبير من المهتمين بالعلوم الهندسية ومن هواة معرفة المزيد من المعلومات العلمية عن..الصواريخ.

وما هى إلى دقائق حتى اعتلى الخبير منصة المحاضرات وبدأ فى هدوء ووقار حديثه الشيق عن الصواريخ قائلاً: الصواريخ كما تعلمون أيها السادة هى أجهزة أنبوبية الشكل طرفها الأمامى مدبب والطرف الآخر مفتوح، وتحتوى هذه الأنبوبة على مصدر للأكسجين- عادة ما يكون سائلا- بالإضافة الى وقود من نوع خاص سريع الاشتعال بحيث أنه عند اشتعاله فإن ينتج عن ذلك قوة دفع ميكانيكية تدفع الصاروخ إلى الحركة نحو الفضاء، ويوضح (شكل رقم٧) أحد الصواريخ قبل إطلاقه وحوله منصة الإطلاق، كما يوضح (شكل رقم٧) أحد الصواريخ قبل إطلاقه وحوله منصة الإطلاق، كما يوضح (شكل رقم ٨) منصة اختبار وقود سائل لمحرك الصاروخ، والصاروخ إذا أطلق فى اتجاه معين فإنه يأخذ مسار فى هذا الاتجاه تماما مثل أى قذيفة مدفعية ولا يمكن تغيير هذا المسار بعد إطلاقه وذلك خلاف للصواريخ الموجهة التى يتم التحكم فى مسارها من لحظة إطلاقها حتى لحظة وصولها الهدف المحدد لها.

وبداية الصواريخ كانت الأسهم والألعاب النارية التى بدأت فى بلاد الصين عام ١٢٣٢ ثم انتشرت بعدها بسنوات قليلة إلى الهند، ومنها إلى الدول العربية، أما فى أوروبا فلم تعرف إلا فى أعوام ١٢٤١ إلى ١٢٤٩ وحيث إن بداية استخدام الأسهم النارية كان فى أغراض الحروب لإشعال النيران فى بداية استخدام الأسهم النارية كان فى أغراض الحروب لإشعال النيران فى المنازل والمخيمات والاستحكامات الدفاعية الخشبية، فإن الصورايخ فى بدايتها كان لها نفس الأغراض، وبعد فترة وجيزة من الزمن انتشر استخدامها بواسطة الجنود والبحارة كنوع من أنواع الإشارة إلى تواجدهم أو تواجد أى أخطار بالإضافة إلى استخداماتها فى الألعاب النارية.

شكل رقم (٧) صاروخ أمريكى على منصة الإطلاق من قاعدة كاب كانفيرال فى فلوريدا

شكل رقم (٨) منصة اختبار الوقود السائل للصواريخ

وفى عام ١٨٠٢ وأثناء قيام العقيد (ويليام كونجريف) الضابط بالجيش البريطانى بقراءة تقارير عن هجوم ناجح للقوات البريطانية فى الهند باستخدام الصواريخ، قرر هذا الضابط إحياء فكرة إنشاء معدات حربية تعتمد على الصواريخ فقام بإجراء تجارب عملية على إطلاق صواريخ لها مهام حربية محددة، وقد حققت هذه التجارب نجاحاً لفت انتباه قيادة الجيش البريطانى الذى تبنى هذا النوع من الصورايخ وما لبثت الجيوش الأوروبية الأخرى وأيضا الجيش الأمريكى أن قامتا بتقليد صناعة (صاروخ كونجريف) وقد لعبت الصواريخ دروراً حاسماً فى الحروب الأوروبية والحروب الأمريكية أيضاً، ففى أوروبا لعبت الصواريخ دوراً مهما فى قصف مدينة كوبنهاجن بالدنمارك وأيضاً فى معركة ليبزج فى ألمانيا وهى المعركة التى هزم فيها نابليون، أما فى الولايات المتحدة الأمريكية فقد استخدم الانجليز الصواريخ لقصف قلعة (ماك هنرى) الواقعة فى ميناء بلتيمور بولاية مارى لاند الأمريكية وذلك خلال حرب عام ١٨١٢. وقد كان ذلك الحدث هو الإلهام للأمريكيين أن يضيفوا جملة (الوهج الأحمر للصواريخ) فى نشيدهم القومى.

ولكن– للأسف– بعد هذه الحروب وفى بداية القرن التاسع عشر بدأت المدفعية تتفوق على الصواريخ فى المسافات وفى الدقة لذا اقتصر دور الصواريخ على أغراض الإشارة للسفن فى حالة تعرضها لأخطار نتيجة سوء الأحوال الجوية.

ويرجع تفوق المدفعية على الصواريخ فى تلك الفترة إلى سبب رئيسى هو أن الوقود الذى كان يستخدم للصواريخ فى تلك الفترة كان (البارود الأسود)وهذا النوع من الوقود كان يستلزم استعماله فور تصنيعه حيث إنه كان غير آمن فى تخزينه أو استعماله، ولكن العلماء الإنجليز والأمريكيين استطاعوا فى الفترة ما بين الحرب العالمية الأولى والحرب العالمية الثانية تصنيع نوع جديد من الوقود ليس له دخان وآمن للغاية فى تخزينه أو استخدامه، وقد مكنهم ذلك من تصنيع أنواع من الأسلحة تطلق من الأرض للجو أو من الأرض للبحر مثل (البازوكا) ذا الوزن الخفيف بحيث يمكن إطلاقها من على كتف فرد المشاة كما تم تطوير نوعين من الصواريخ أحدهما يسمى راتو والآخر يسمى جاتو " وهذان النوعان من الصوايخ كانا يستخدمان لمساعدة الطائرات فى الإقلاع من ممر إقلاع قصير أو من على ظهر حاملة طائرات.

وتختلف الصورايخ عن الطائرات اختلافا جوهرياً فى أن الطائرات تحتاج إلى مصدر خارجى عنها للحصول على الهواء الذى يحتوى على الأكسجين اللازم لعمل محركاتها فى حين أن الصورايخ تحمل بداخلها الأكسجين اللازم لعملها، وقد بنى الألمان طائرة مقاتلة لها محركات صاروخية وهى الطائرة (مسر شميت) أو (Me 0 163) وكانت طائرة سريعة للغاية لكن الوقود الذى تحمله لم يكن كافياً لطيرانها مدة طويلة، وفى عام ١٩٤٦ أنتجت الولايات المتحدة الأمريكية الطائرة (أكس–١) (X-1) وهى أيضاً ذات محركات صاروخية وكانت أول طائرة

تعبر حاجز الصوت أى تتعدى سرعتها ٣٣٠ متر فى الثانية وتوالت بعد ذلك التعديلات على هذه الطائرة حتى تم إنتاج الطائرة (أكس – ٢) (X-2) التى استطاعت التحليق على ارتفاع ١٠٠ ألف قدم تلتها الطائرة المعجزة (أكس –١٥) (X-15) التى وصلت إلى ارتفاع ٧٥ ميل (أنظر شكل ٩).

شكل (٩) الطائرة الأمريكية ذات المحركات الصاروخية X-15 التى تستطيع الطيران بسرعة ٤٠٠٠ ميل فى الساعة على ارتفاع ١٠٠ ميل

أما فى مجال الصواريخ فقد تم تقسيمها إلى ٤ أنواع هي:

١– صواريخ سطح – سطح ٢– صواريخ سطح – جو

٣– صواريخ جو – جو ٤– صواريخ جو – أرض

وتنقسم الصواريخ سطح سطح إلى أربعة أنواع هي

(١) عابرات القارات

مثل:

الصاروخ أطلس ومداه ٩٠٠٠ ميل

الصاروخ مينيو تيمان ومداه ٦٠٠٠ ميل

الصاروخ تيتان ومداه ٦٣٠٠ ميل

ويوضح شكل رقم ١٠ هذا الصاروخ

شكل (١٠) الصاروخ تيتان – ٢ ويعمل بالوقود السائل

(ب) متوسطة المدى:

مثل

الصاروخ بولارليس – ٣ ومداه ٢٥٠٠ ميل

الصاروخ ثور ومداه ١٥٠٠ ميل

الصاروخ جوبيتر ومداه ١٥٠٠ ميل

(حـ) صواريخ من سطح السفينة للأرض:

مثل

الصاروخ ريجيولس ومداه ١٢٠٠ ميل

(د) صواريخ أرض – أرض:

مثل

الصاروخ ماس ومداه ١٢٠٠ ميل

الصاروخ ميتادور ومداه ٦٥٠ ميل

الصاروخ بيرشنج ومداه ٤٠٠ ميل

الصاروخ ردستون ومداه ٢٠٠ ميل

الصاروخ كوريورال ومداه ٧٥ ميل

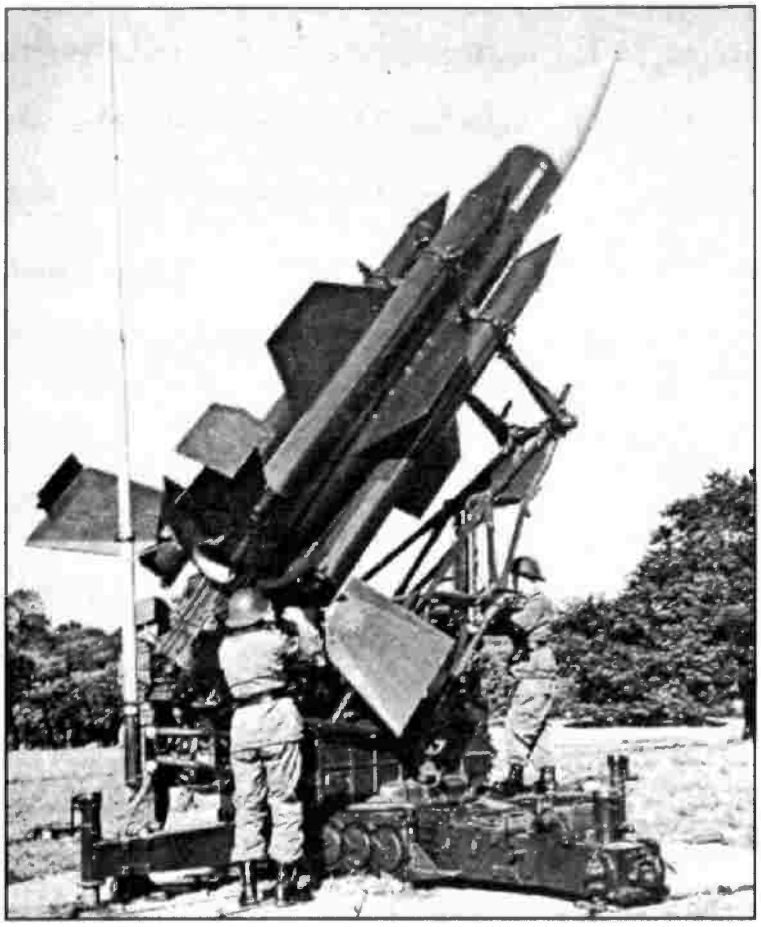
الصاروخ سيرجنت ومداه ٧٥ ميل

الصاروخ لاكروس ومداه ٢٠ ميل

الصاروخ جون الأمين ومداه ١٢ ميل

الصاروخ جون الصغير ومداه ١٠ ميل

أما الصواريخ سطح – جو مثل الصاروخ الموضح فى (شكل رقم ١١) فتنقسم غلى عدة أنواع هى:



شكل رقم (١١) الصاروخ الإنجليزى تندر بيرد وهو صاروخ سطح جو

(أ) صواريخ اعتراضية:

مثل

الصاروخ نيك زيوس ومداه ١٠٠ ميل

(ب) صواريخ أرض – جو:

مثل:

الصاروخ يورمارك ب ومداه ٤٠٠ ميل

الصاروخ يور مارك أ ومداه ٢٥٠ ميل

الصاروخ نيك – هرقل ومداه ٨٠ ميل

الصاروخ نيك – أجاكس ومداه ٢٥ ميل

الصاروخ هوك ومداه ٢٢ ميل

(جـ) صواريخ سفن – جو:

مثل:

الصاروخ تالوس ومداه ٦٥ ميل

الصاروخ تيرير ومداه ٢٠ ميل

الصاروخ ترتر ومداه ١٢ ميل

أما الصواريخ جو – جو فهى

الصاروخ سبارو–٣ ومداه ١٢ ميل

الصاروخ فالكون ومداه ٥ ميل

الصاروخ زوني ومداه ٥ ميل

الصاروخ سيد ويندر ومداه ٢ ميل

الصاروخ جنى ومداه ١.٥ – ٢ ميل

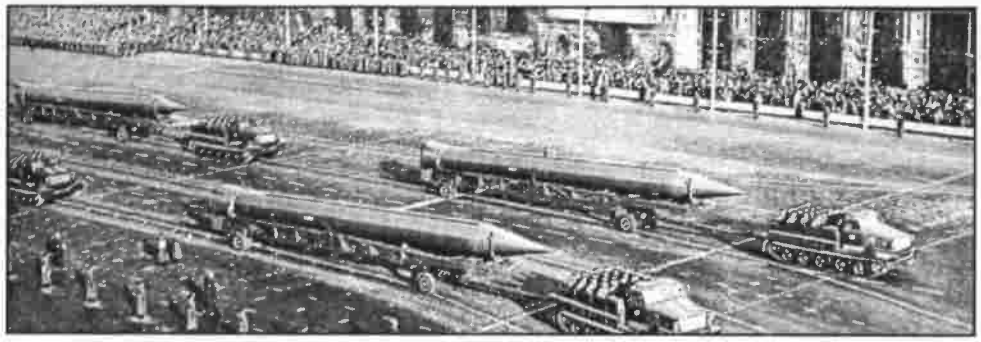
أما الصواريخ جو – أرض فهى مثل:

الصاروخ هوند دوج ومداه ٦٠٠ ميل

الصاروخ سكاى بولت ومداه ١٠٠ ميل

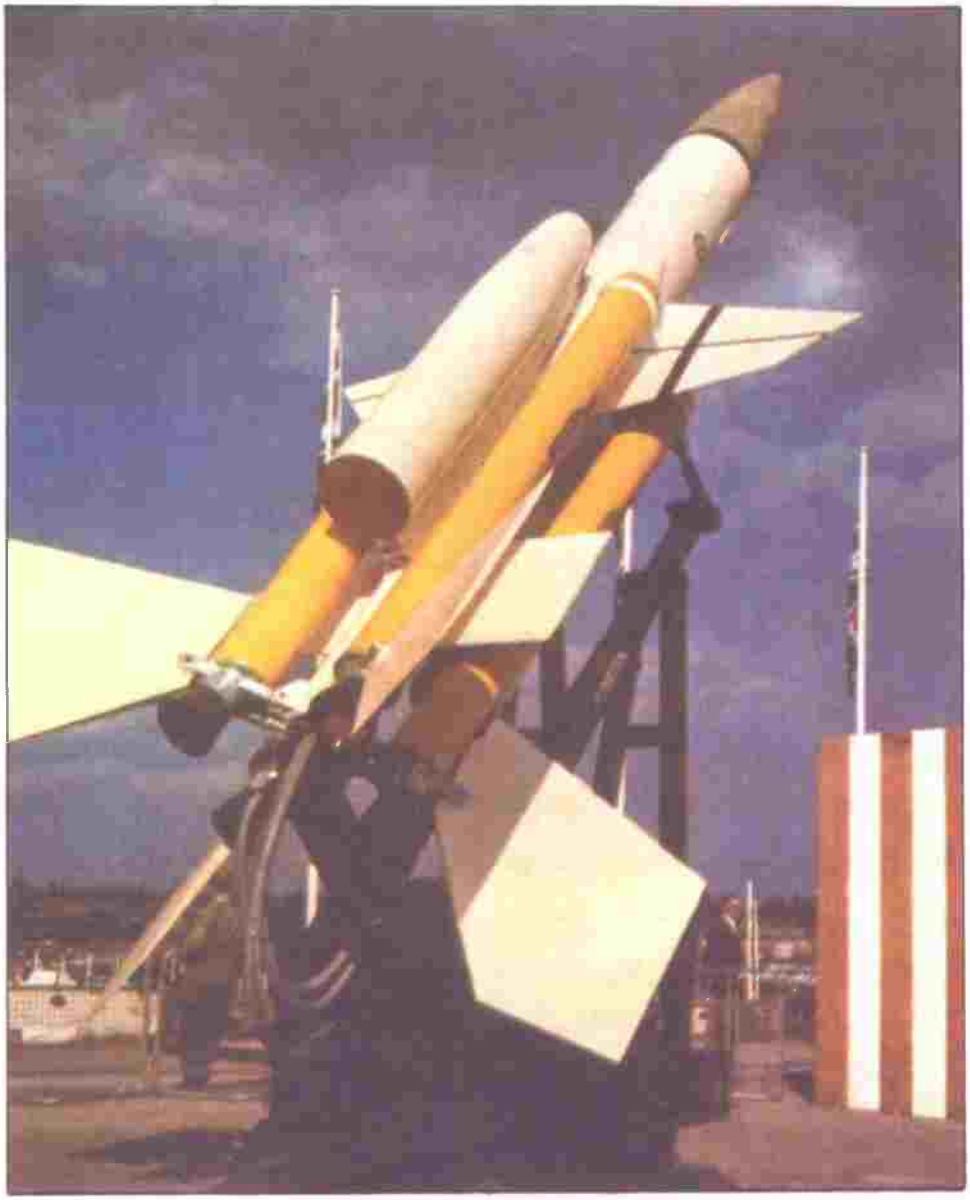
الصاروخ بول بوب – أ ومداه ٦ ميل

وبالطبع فإن كل ما سبق من أنواع للصواريخ هى مجرد أمثلة على كل نوع من أنواع الصواريخ وليست حصراً لجميع أنواع الصواريخ التى أنتجها العقل البشرى، فهناك مثلاً الصواريخ الروسية التى استخدمت فى حمل أول مركبة فضاء (وهى المركبة سبوتنيك – ١) حول الأرض عام ١٩٥٧ وكذا الصاروخ الروسى T-3 ويظهر بعض هذه الصواريخ فى (شكل رقم ١٢) وهناك أيضا الصاروخ البريطانى (بريستول بلوج هوند) المستخدم فى الأغراض الحربية والموضح فى (شكل رقم ١٣).



شكل (١٢) استعراض للصواريخ الروسية فى موسكو عام ١٩٦٢

ومهما تقدمت البشرية فى تكنولوجيا الصورايخ وأنواعها ومداها فلن تنسى أبدا ذلك الصاروخ الألمانى الذى تم تصنيعه وتطويره خلال الحرب العالمية الثانية والمسى V-2 (شكل رقم ١٤) منظر عام لهذا الصاروخ الذى كان يعمل بالكحول كوقود مع الأكسجين السائل، وقد بلغ طول هذا الصاروخ حوالى ١٥ متر (تحديداً ٤٦ قدم) أى ما يعادل حوالى ارتفاع عمارة مكون من ٥ أدوار وبلغ قطره حوالى ١.٨ مترا (تحديداً ٥ أقدام وخمسة بوصات) وكان هذا الصاروخ يزن وهو فارغ ٦٦٠٠ رطل أى ما يعادل حوالى ٢.٧٥ طن، وكانت رأسه الحربية لهذا الصاروخ والتى تحمل متفجرات تزن ٢٢٠٠ رطل أى أن إجمالى وزن الصاروخ بالوقود والمتفجرات عند الإطلاق بلغ ٢٨٠٠٠ رطل، ولكن هذا الصاروخ كان يستهلك كل الوقود المخصص له خلال دقيقة واحدة وستة ثوانى ليتحرك بسرعة بلغت ٣٥٠٠ ميل فى الساعة أى ما يعادل ٥٦٠٠ كيلو متر فى الساعة.



شكل (١٣) الصاروخ البريطانى بريستول بلود هوند

شكل (١٤) الصاروخ الألمانى V2 الذى أنتج خلال الحرب العالمية الثانية واستخدم فى الفترة من ١٩٣٩ حتى ١٩٤٥

وقد استخدم هذا الصاروخ فى قصف مدينة لندن خلال الحرب العالمية حيث كان أقصى ارتفاع له هو ٦٥ ميل (حوالى ١٠٤ كيلو متر) وأقصى مدى له هو ٢٠٠ ميل (حوالى ٣٢٠ كيلو متر).

ويرجع الفضل فى اختراع هذا الصاروخ إلى العالم الألمانى (فون براون) الذى هاجر بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية من ألمانيا إلى الولايات المتحدة الأمريكية حيث شارك فى برنامج الصورايخ الأمريكية التى حملت مركبات فضاء إلى القمر وقد صنع الغرب صواريخ عديدة مشابهة لهذا الصاروخ الألمانى V2 مثل الصاروخ (فايكنج) Viking والصاروخ الأمريكى (إيروبي) Aegobee) وهذه الكلمة تعنى (نحلة الفضاء) وكذا الصاروخ (بامبر) (Bumper).

ثم اختتم الخبير الأجنبى محاضرته قائلاً:

ومازالت البحوث والتطوير فى مجال الصواريخ الموجهة والصواريخ ذات المرحلتين أو أكثر مستمرة، ويجب على الدول العربية متابعة الأبحاث والتطورات فى مجال الصواريخ حتى يأتى اليوم الذى يشاركون فيه فى هذا المجال بإطلاق الصاروخ العربى وبإذن الله سيكون هذا اليوم قريباً.

خرج الجميع من المحاضرة وهم سعداء يناقشون فيما ذكره هذا الخبير، وأثناء خروج محمد وأمانى ووالدهما قابلهما صديق لوالدهما قدمه والدهما لهما على أنه الدكتور أمين وقد كانت سعادتهم بالغة حينما علما أنه عالم مصرى فى الصواريخ.

وقال له محمد: يا دكتور أمين أريد أن أسألك فى بعض النقاط الخاصة بالصواريخ والتى لم أفهمها جيداً فى المحاضرة.

فأجابه الدكتور أمين: بكل سرور يا محمد.. فقاطعهما الأب قائلاً: ليس من المناسب أن تطرح- يا محمد – أسئلتك على الدكتور أمين ونحن فى ردهة النقابة، لماذا لا تشرفنا يا دكتور بالزيارة فى منزلنا غدا الساعة السادسة مساء لتناول معا كوبا من الشاى ونتجاذب جميعا أطراف الحديث؟!

رد الدكتور أمين: بكل سرور، هنا صاح محمد وأمانى: نحن فى انتظار زيارتك يا دكتور أمين مساء الغد يبالغ الشوق.. فإلى الغد إن الغد لناظره قريب..

البلازما والصواريخ

فى مساء اليوم التالى وفى منزل الأب ألتقى الدكتور أمين بالأب وبمحمد وأمانى، وبينما هم يتناولون الشاى مع الحلويات بدأ محمد بجذب أطراف الحديث متسائلاً: لقد حضرنا منذ أيام محاضرة عن البلازما وتطبيقاتها الهندسية، وبالأمس كنت معنا فى محاضرة عن الصواريخ وأنواعها وتكنولوجياتها وكنت أود أن أسالك يا دكتور أمين عن.. فقاطعه الدكتور أمين قائلاً: هل تعرف يا محمد العلاقة بين الصواريخ و البلازما؟

أجاب الجميع فى نفس واحد: أهناك علاقة بينهما؟

رد الدكتور أمين: بالطبع فهناك علاقة وثيقة، سال الأب: وما هى هذه العلاقة؟!

أجاب الدكتور أمين: بالطبع فهناك علاقة وثيقة، سال الأب: وما هى هذه العلاقة؟!

أجاب الدكتور أمين: لعلكم تعلمون جميعاً تصميم وكذا تكنولوجيا الصواريخ قد واجهت مشكلتين رئيستين: الأولى هى توجيه الصواريخ، والثانية هى مشكلة رجوع الصاروخ إلى الغلاف الجوى المحيط بالكرة الأرضية.

سألت أمانى: وما هى علاقة هاتين المشكلتين ب البلازما؟!

أجاب الدكتور أمين: علاقة وثيقة ولنبدأ بتفاصيل مشكلة التوجيه: لقد بدأ التفكير فى توجيه الصواريخ فى الحرب العالمية الثانية وتحديدا عندما قرر هتلر إنتاج صاروخ يسمى v-1 وهو الصاروخ الذى سبق الصاروخ v-2 الذى تحدث عنه الخبير الأجنبى فى المحاضرة وفى هذا الصاروخ V-1 كان التوجيه بدائياً باستخدام جهاز (الطيار الأتوماتيكي) وكانت مهمة هذا الجهاز هو المحافظة على اتجاه الصاروخ فى خط مستقيم لا يحيد عنه لأنه من المعروف أن الصاروخ إذا أطلق فى اتجاه معين فإن الصاروخ عادة لا يلتزم بهذا الاتجاه نتيجة لتأثير الرياح وعدم دقة تصميم وتنفيذ دفة الصاروخ وكذا تغيير الضغط الجوى كلما اتجه الصاروخ لأعلى، كل هذه العوامل تؤثر فى اتجاه الصاروخ وتغير مساره مما يكون له أكبر أثر فى عدم وصول الصاروخ إى الهدف لذا كان جهاز الطيار الأتوماتيكى له مهمة محددة وواضحة وهى الحفاظ على الاتجاه الإطلاق للصاروخ بحيث لا يتأثر بالعوامل السابق ذكرها وبعد نهاية الحرب العالمية الثانية تطور نظام الصواريخ بحيث استخدمت أجهزة الإرسال الرادارية أو موجات اللاسلكى للتحكم فى مسار الصاروخ بعد إطلاقه وهذا النظام مازال يستخدم حتى الآن فى بعض الصواريخ، ولم يتعد الصواريخ تستخدم (الطيار الأتوماتيكي) الذى أصبح ملائماً بصورة أكثر

للطائرات وليس للصورايخ، أما نظام التوجيه بالموجات الرادارية أو موجات اللاسلكى فقد تعرض هذا النظام لمشاكل نتيجة البلازما المتولدة من المحرك الصاروخى للصاروخ، فكمية اللهب- واللهب فى الواقع هو البلازما الصادرة عن هذا المحرك الصاروخى تحجب أو تشوه جزئياً أو كلياً فى بعض الأحيان الموجات الرادارية أو اللاسلكية الصادرة عن محطات التوجيه الأرضية ولعل الصورة الموضحة فى (شكل رقم ٦) توضح هذا التشوه لذا البلازما تعوق التوجيه الرادارى أو اللاسلكى للصواريخ فى بعض ألأحيان وهذه هى العلاقة بين الصورايخ و البلازما.

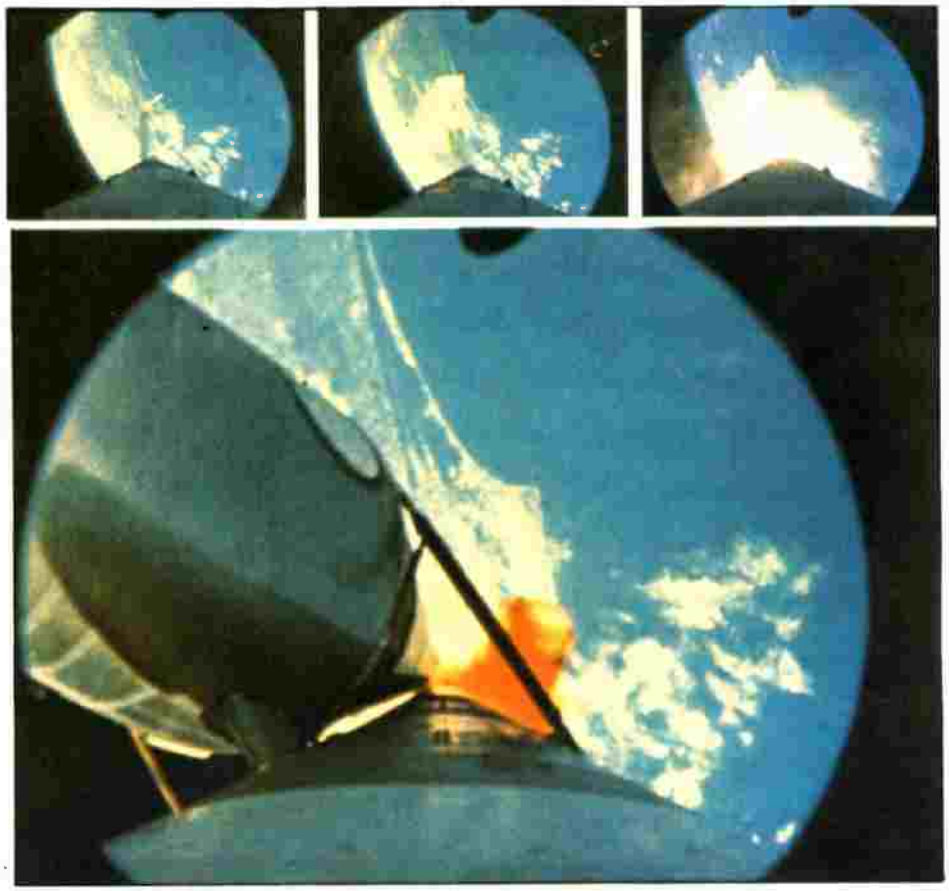
وقد حاول العلماء حل هذه المشكلة عن طريق ابتكار وسائل أخرى للتوجيه مثل (الصاروخ راكب الشعاع) وذلك عن طريق جعل الصاروخ يسير على شعاع رادارى، أو مثل الصاروخ (ذاتى الملاحة) والذى يقوم بتوجيه نفسه٠ مثل الصاروخ الأمريكى كروز- بالاستعانة بضوء النجوم وبالمحطات اللاسليكة الأرضية.

أما الصاروخ ذو التوجيه الفعال homing missile فهو صاروخ يوجه نفسه نحو مصدر الحرارة (او البلازما) الناتجة من محركات الطائرات أو محركات صاروخ آخر أو أى مصدر للحرارة وبذا تكون البلازما (اللهب الصادر عنه الحرارة) هو مصدر التوجيه أى أن البلازما فى هذه الحالة ليست مصدر إعاقة أو تشويه بل هى مصدر توجيه.

أما المشكلة الثانية وهى مشكلة رجوع الصاروخ إلى الغلاف الجوى فإنه من المعروف أن الصورايخ بعيدة المدى مثل جوبتير jupiter مثلا فإنه له مدى يصل إلى ٣٠٠٠ ميل أى حوالى ٤٨٠٠ كيلو متر وأنه فى المنصف الأول من مساره يكون ارتفاعه عن الأرض حوالى ٦٠٠ ميل (أى حوالى ٩٦٠ كيلو متر) أى فى منطقة ليس فيها هواء لأنه يكون خارج الغلاف الجوى للأرض ولكن عند عودة الصاروخ فى النصف الثانى من مساره فإنه يبدأ فى الهبوط ويدخل منطقة الغلاف الجوى وهنا تبدأ المشكلة حيث ترتفع درجة حرارة مقدمة الصاروخ (الجزء المخروطى) ارتفاعاً كبيراً مما يتسبب فى ارتفاع درجة حرارة الصاروخ بأكمله، وقد تبين لنا من (شكل رقم٣)، (شكل رقم ٤) تكون طبقة بلازما على هذا الجزء المخروطي. وارتفاع الحرارة يكون عالياً للغاية وقد يصل الى عدة آلاف من الدرجات المئوية مما يتسبب فى احتراق الصاروخ بأكمله لذا قامت فى عديد من الدول تجارب عديدة لاختيار أنسب شكل مخروطى لمقدمة الصورايخ لمنع تكون البلازما وبالتالى احتراق الصاروخ، وقد شملت هذه التجارب تجربة عمل سبائك من معادن فائقة الاحتمال للاحتكاك ولدرجات الحرارة العالية.

ولعل مجموعة الصور الموضحة (فى شكل رقم ١٥) توضح احتراق المرحلة الأولى لأحد الصواريخ الأمريكية وهو الصاروخ تيتان ٣د titan lllC الأمريكى حيث تم تصوير هذه الصورة النادرة بواسطة آلة تصوير مثبتة على الصاروخ.

وأنهى الدكتور أمين حديثه قائلاً: يجب علينا أن نتعلم كل شيء حتى نفتح آفاق المستقبل أمام الشباب.



شكل (١٥) احتراق المرحلة الأولى للصاروخ تيتان – ٣ د

شكر الأب ومحمد وأمانى الدكتور أمين على شرحه الوافى للعلاقة بين البلازما والصواريخ وودعوه حتى باب المنزل وهم يكررون شكرهم وذهبوا إلى منزلهم حيث نام محمد وأمانى وهم يحلمون باليوم الذى تطلق بلادهم فيه أول صاروخ موجه نحو القمر..

ولكنهم استيقظوا على صوت أمهم تناديهم: أصحو يا أولاد قد حان ميعاد الذهاب للمدارس.. افيقوا جميعاً من أحلامكم...!

المراجع

1- Plasma physics and magento fluid mechanics Ali Bulent Cambel Mcgraw- Hill Book.

2- Brutannica hunior encyclopedia.

3- Children bitaciva

الفهرس

نقابة المهن الهندسية ٣

البلازما ٧

الصورايخ ١٧

البلازما والصواريخ ٣٠

رقم الإيداع ٢٠٠٠/٨٠٥٤
الترقيم الدولى ISBN 977-02-6007-X

٧/٢٠٠٠/١٦

طبع بمطابع دار المعارف (ج.م.ع.)