أيضا على كتلة الكوكب ونصف قطره، لذلك نجد أن لكل كوكب فى المجموعة الشمسية عجلة جاذبية خاصة به. فعجلة جاذبية القمر :

$$g_{moon}=G \times M_{moon} / D^2_{moon}=1.61\ m/s^2$$

وعجلة جاذبية المريخ :

$$g_{mars}=G \times M_{mars} / D^2_{mars}=3.68\ m/s^2$$

فكتلة الصاروخ لاتتغير على سطح الأرض أو القمر أو المريخ، ولكن على سطح القمر يكون وزن الصاروخ تقريبا **1/6** وزنه على سطح الأرض، وعلى المريخ يكون وزنه **1/3** وزنه على سطح الأرض. لهذا نجد أن الصاروخ على القمر أو المريخ لا يحتاج لنفس قوة الدفع للانطلاق مثل التى يحتاجها للانطلاق من سطح الأرض. لأن وزن الصاروخ على القمر أو المريخ أقل من وزنه على الأرض.

جميع القوى هى كميات متجهه vector quantity لها مقدار واتجاه. لذلك قوة وزن الصاروخ تتجه دائما ناحية مركز الأرض. يعتمد مقدار هذه القوى على كتلة جميع أجزاء الصاروخ نفسة بالإضافة إلى الحمولة التى ينقلها الصاروخ (القمر الصناعى أو المسبار الذى سيضعه فى مداره). والوزن موزع على طول الصاروخ، لكننا نعتبر أنه مجمع ويعمل عند نقطة واحدة تسمى مركز الثقل *cg*. وأثناء الطيران يدور الصاروخ حول مركز الثقل، ولكن يظل اتجاه الوزن تجاه مركز الثقل.

وأثناء اطلاق الصاروخ فإن الوقود يحترق، لذلك فإن وزن الصاروخ يتغير بمعدل ثابت. لذلك يؤخذ فى معادلات الحركة للصاروخ التغير فى وزن الوقود وبالتالى فى الوزن الكلى للصاروخ. وغالبا يتكون الصاروخ من مراحل متعددة تنفصل أثناء الطيران بعد أن ينتهى وقودها ليبدأ اشعال وقود المرحلة التالية.

4-7 : قوى الهواء الديناميكية على الصاروخ :

تتولد قوى الهواء الديناميكية على الصاروخ عند طيرانه فى الهواء. ومقدار هذه القوى يعتمد على شكل الصاروخ، حجمه، سرعته وبعض خواص طبقة الهواء التى يطير خلالها. وتنقسم القوى الديناميكية إلى مركبتين: قوة مقاومة الهواء drag ويكون اتجاهها عكس اتجاه الحركة، وقوة رفع lift تعمل فى اتجاه عمودى على اتجاه حركة الصاروخ. وتؤثر قوتى المقاومة والرفع عند مركز الضغط **cp** وهو موقع متوسط لتأثير قوى الهواء الديناميكية على جسم الصاروخ.

قوى الهواء الديناميكية هى قوى ميكانيكية mechanical forces. وتتولد من مرور الصاروخ بسرعة خلال الهواء أثناء الطيران. أى أن هذه القوى ليس لها وجود على الصاروخ قبل اطلاقه. لأن هذه القوى لاتولد مجال قوة مثل مجال الجاذبية

الأرضية gravitational field أو المجال الكهرومغناطيسى electromagnetic field. لهذا نجد أن خارج الغلاف الجوى تتلاشى قوى الرفع ومقاومة الهواء. لآن قوى الهواء الديناميكية تتولد من الفرق فى السرعة بين الصاروخ والهواء. واذا لم توجد حركة نسبية بين الجسم والهواء لاتوجد قوى ديناميكية.

يستفاد من تأثير قوى الهواء الديناميكية على كل من الطائرة والصاروخ بطرق مختلفة. فتستفاد الطائرة من قوة الرفع للتغلب على وزن الطائرة، ولكن الصاروخ يستخدم قوى دفع المحركات thrust للتغلب على وزنه. لأن مركز الضغط لاينطبق على مركز الثقل، ويستفاد من قوة الرفع فى الصاروخ فى المحافظة على استقرار الصاروخ أثناء طيرانه والتحكم فى اتجاه الطيران. أغلب الطائرات لها قوة رفع عالية بالنسبة لقوة مقاومة الهواء، بينما تكون قوة مقاومة الهواء للصاروخ أكبر بكثير من قوة الرفع.

يمكننا القول أن قوة مقاومة الهواء هى قوة الأحتكاك واحد مصادر هذه القوة هو الاحتكاك بين جزيئات الهواء والسطح الصلب للصاروخ المتحرك. لهذا يعتمد مقدار الاحتكاك على خواص كلا من الجسم الصلب والهواء. فنعومة سطح الصاروخ وتحدبه يولد قوة احتكاك أقل من الأسطح الخشنة. ويعتمد مقدار الاحتكاك على لزوجة الهواء viscosity، وعلى المقدار النسبى لقوى اللزوجة إلى حركة تدفق الهواء.

تتكون على امتداد سطح الصاروخ طبقة حدية طاقة تدفقها أقل من الطبقات الأبعد عن السطح، ويعتمد مقدار الأحتكاك على حالة هذا التدفق. ويمكننا أن نتخيل مقاومة الهواء على انها مقاومة لحركة الجسم خلال الهواء وتعتمد هذه المقاومة على شكل جسم الصاروخ. تتغير السرعة المحلية والضغط عند تدفق الهواء حول جسم الصاروخ. وحيث أن الضغط مقياس لعزم جزيئات الهواء والتغير فيه ينتج قوة، والتوزيع المتغير فى الضغط سوف ينتج قوة على الجسم.

إن قوة الرفع تحدث عندما يتغير اتجاه تدفق الهواء نتيجة تحدب جسم الصاروخ. فإذا حدث تغير لتدفق فى جانب من سطح الصاروخ تحدث قوة الرفع فى الجانب المقابل منه، طبقا لقانون نيوتن الثالث للفعل ورد الفعل. وتحول مقدمة الصاروخ المخروطية وجسمه الأسطوانى والزعانف تدفق الهواء ليصبح مصدر لقوة الرفع إذا كان اتجاه طيران الصاروخ يميل على المحور الطولى له.

5-7 : الحركة الرئيسية للصاروخ :

نحن نعيش فى عالم محدد بثلاثة أبعاد بالإضافة لبعد الزمن الرابع، لذلك يتحرك أى جسم حركتين. الحركة الأولى حركة أنتقالية أى يغير موقعة من نقطة إلى أخرى،