در دنیای پرمصرف امروز، مسئلهٔ زباله و آسیب روزافزون آن به محیط زیست یکی از هیولازادگان بشر است که به مصاف حیات خود او می‌آید.

در این راستا چندی پیش با یکی از دوستان صحبتی داشتیم. ایشان مطرح کرد که: خب بشر می‌تواند این سیاست را در پیش بگیرد که زباله‌های خود را به فضا بفرستد تا زمین را اشغال و آلوده نکند.

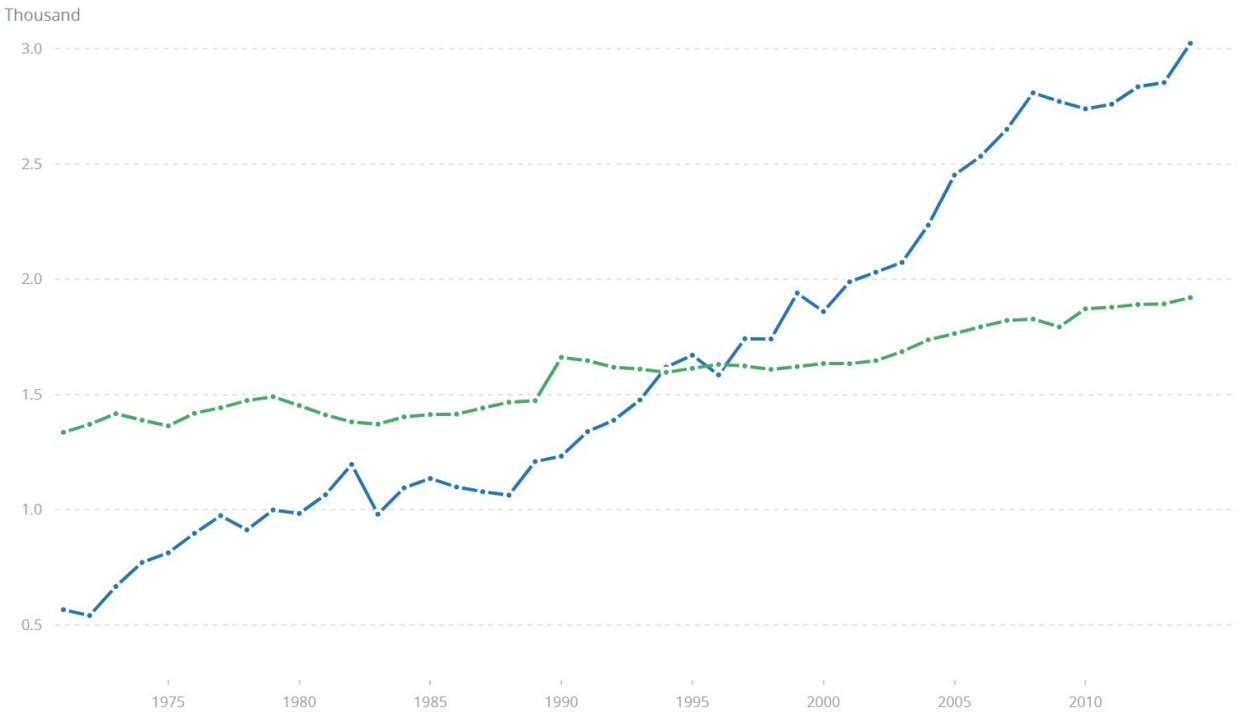
اینبار این ادعا را بررسی خواهیم کرد:

«**بشر می‌تواند با فرستادن زباله‌های خود به فضا از شرّ آثار مخرّب آن خلاص شود.**»

آیا این ادعا درست است؟



کرهٔ زمین امروزه با جمعیّتی در حدود ۷٫۷ میلیارد نفر انسان اشغال شده است. این عدد که سالهاست تقریباً با شیب یکسانی رشد می‌کند، پنجاه سال پیش تنها ۳٫٦ میلیارد بود. از فقط ۵۰سال پیش (سال ۱۹٦۹) تا حالا جمعیت جهان ۲برابر شده است![1] ۵۰سال اصلاً عدد دوری نیست. قضیه برای ایران بغرنج‌تر می‌شود، چراکه از ۵۰سال پیش تا حالا جمعیت ایران ۳برابر شده است![2] از طرفی میزان مصرف هر ایرانی هم سالانه رشد کرده است؛ (بعضاً) بیش از مقادیر جهانیش. بنابراین اصلاً بعید نیست اگر میزان تولید پسماند از ۵۰سال پیش تا حالا به صورت سرسام آوری در ایران و جهان افزایش پیدا کرده باشد. به نمودارهای زیر که در آن آبی نمایانندهٔ ایران و سبز نمایانندهٔ جهان است، نظری بیاندازید[3]:

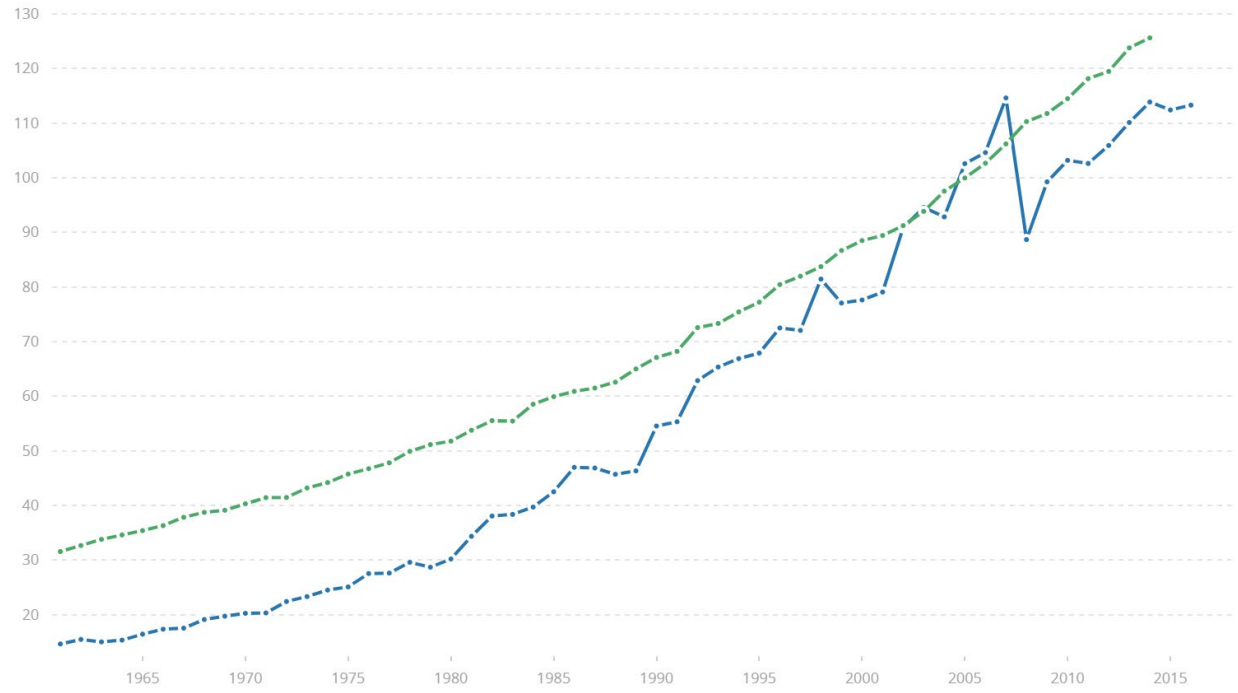


شکل 1. سرانهٔ مصرف انرژی (در واحد کیلوگرم نفت)

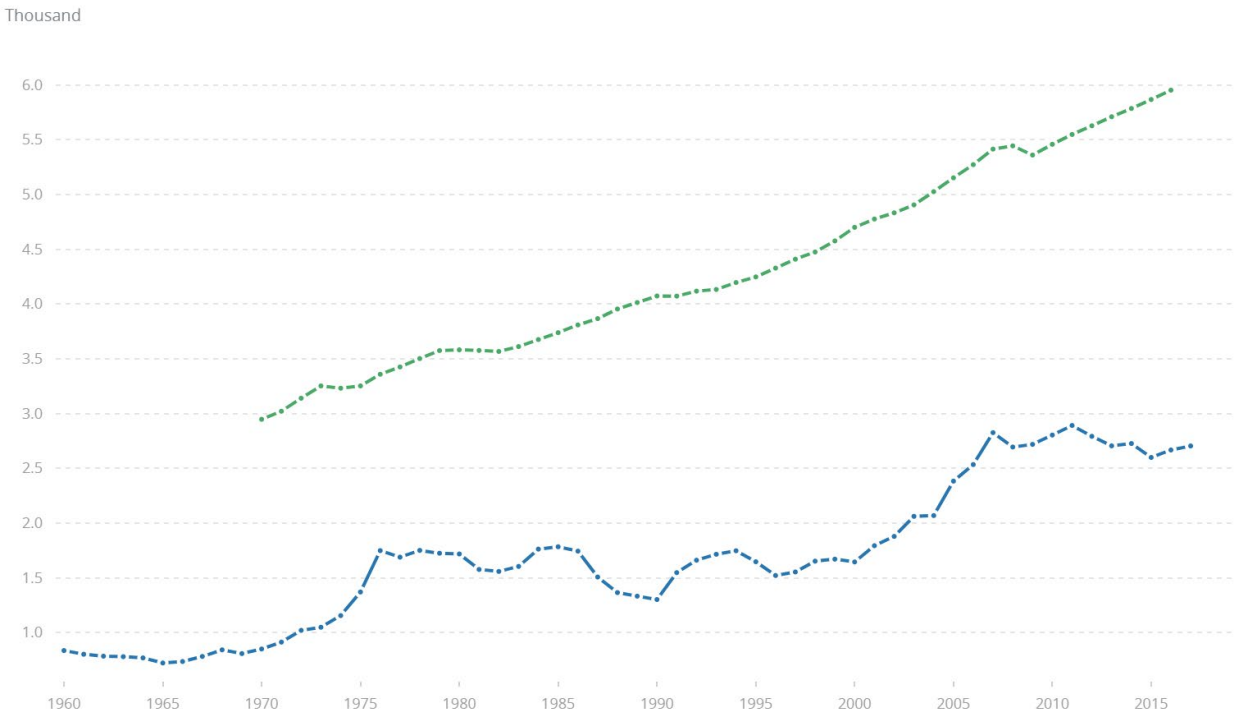
[1] با استفاده از داده‌های WorldBank

[2] از حدود ۲۷میلیون تا حدود ۸۱میلیون نفر

[3] تمام نمودارها برگفته از داده‌های سایت بانک جهانی است.

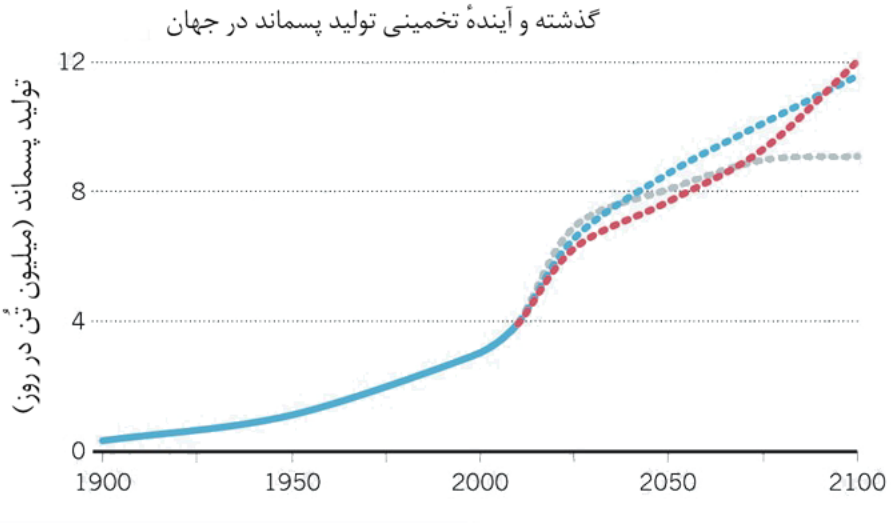


شکل 2. اندیس تولید خوراک



شکل 3. هزینهٔ مصرف خانوار (به دلار سال ۲۰۱۰)

در جهان هر سال ۲٫۱ میلیارد تُن زباله تولید شده و بر زباله‌های سالهای قبل انباشه می‌گردد.[4] و این رقم رو به افزایشی ویرانگر دارد، به طوریکه بسته به سناریویی که در پیش خواهیم گرفت این رقم تا تقریباً ۳۰سال دیگر می‌تواند حدود ۷۰٪ رشد کند (نمودار زیر).[5]



شکل 4. تخمین آیندهٔ تولید پسماند جهانی (با سناریوهای مختلف)[6]

بد نیست به دنبالهٔ مقایسهٔ پنجاه ساله‌ای که در ابتدای متن کردیم، از روی نمودار بالا ببنید که از پنجاه سال پیش تا حالا میزان پسماندی که هر روز در جهان تولید می‌شود ۳برابر شده است!

چیزی که برای مسئلهٔ فیزیکی ما بیشتر مورد اهمّیت است، مقدار تولید زباله در حال حاضر و رشد آن در سالهای آتی است. قرار است هر سال ۲٫۱ میلیارد تُن یا ۲٫۱۰۰٫۰۰۰٫۰۰۰٫۰۰۰کیلوگرم زباله را به فضا بفرستیم. برای اینکه حسّی نسبت به این عدد پیدا کنید بیاید چند مثال برایش پیدا کنیم.

تعداد تمام آدمهای کرهٔ زمین ۷٫۷میلیارد نفر است. اگر به طور متوسط وزن هر آدم را ۶۰کیلوگرم در نظر بگیریم، نسبت وزن زبالهٔ تولید شده در هر سال به وزن تمام انسانهای کرهٔ زمین برابر خواهد بود با:

$$\frac{۲.۱ \times ۱۰^{۱۲} kg}{۷.۷ \times ۱۰^{۹} \times ۶۰ kg} = \frac{۲۱۰۰}{۴۶۲} \approx ۴.۵$$

یعنی در هر سال ۴٫۵ برابر وزن کلّ آدمهای زمین آشغال تولید می‌شود. پس طرح فرستادن زباله‌ها به فضا مثل این است که هر سال ۴٫۵ بار تمام انسانهای زمین را عازم فضا کنیم.

---

[4] http://www.theworldcounts.com/counters/shocking_environmental_facts_and_statistics/world_waste_facts

[5] همچنین می‌توانید به این مطلب مراجعه کنید:
http://www.worldbank.org/en/news/feature/2013/10/30/global-waste-on-pace-to-triple

[6] https://www.nature.com/news/environment-waste-production-must-peak-this-century-1.14032

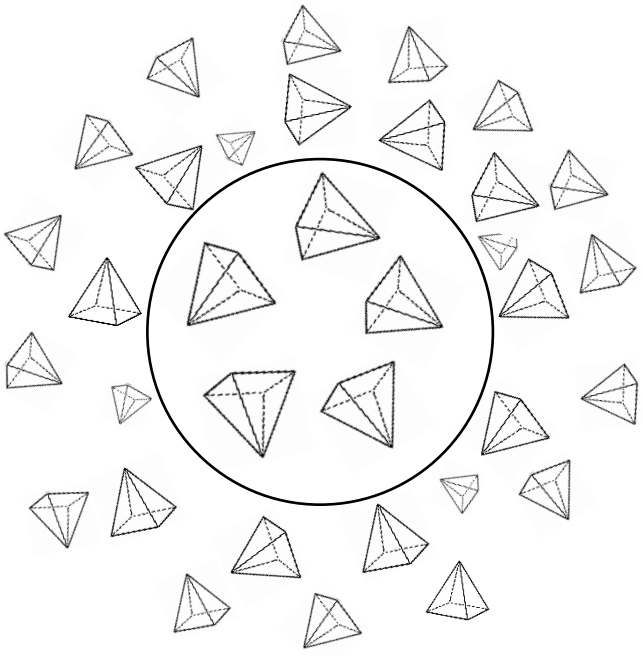
هرم بزرگ جیزه ٦,٥میلیون تُن است، بنابراین وزن پسماند سالانه، ۳۲۳برابر وزن هرم جیزه است. یعنی حتی اگر تمام زباله‌ها را مثل سنگ فشرده کنیم، باز هم هر سال حجمی به اندازهٔ ۳۲۳ هرم بزرگ جیزه را به خود اختصاص خواهند داد.

مقدار باری که شاتل فضایی در هر بار پرتاب می‌تواند با خود تا یکی از مدارهای زمین (مثلاً همانجایی که ایستگاه فضایی قرار دارد) حمل کند از حدود ۲۰,۰۰۰کیلوگرم است.[7] یعنی برای اینکه آشغالهای سالانهٔ زمین را به فضا ببریم تا در مداری دور زمین بچرخند باید هر سال به تعداد زیر شاتل هوا کنیم:

$$\frac{۲.۱ \times ۱۰^{۱۲} kg}{۲ \times ۱۰^{۴} kg} \approx ۱۰^{۹}$$

یک میلیارد بار! هر سال!

هر بار پرتاب شاتل حدود ۴۵۰میلیون دلار هزینه دارد.[8] یعنی از این راه، در هر سال باید ۴۵۰هزار تریلیون دلار صرف قرار دادن آشغالها در مدار زمین کرد. تازه این آشغالها هنوز از جاذبهٔ زمین خارج نشده‌اند و در مداری همواره به دور آن در حال چرخشند. این در حالی است که تولید ناخالص جهانی از مرتبهٔ ۱۰۰تریلیون دلار است.[9] یعنی شاتل هوا کردن برای آشغالها ۴۵۰۰برابر اقتصاد جهانی هزینه برمی‌دارد! حالا اگر شما راهی پیدا کنید که از شاتل هوا کردن ۱۰برابر نه ۱۰۰برابر نه ۴۵۰۰برابر هم ارزانتر باشد، هنوز به نظر با عملی شدن/اقتصادی شدن فاصلهٔ درازی دارد.

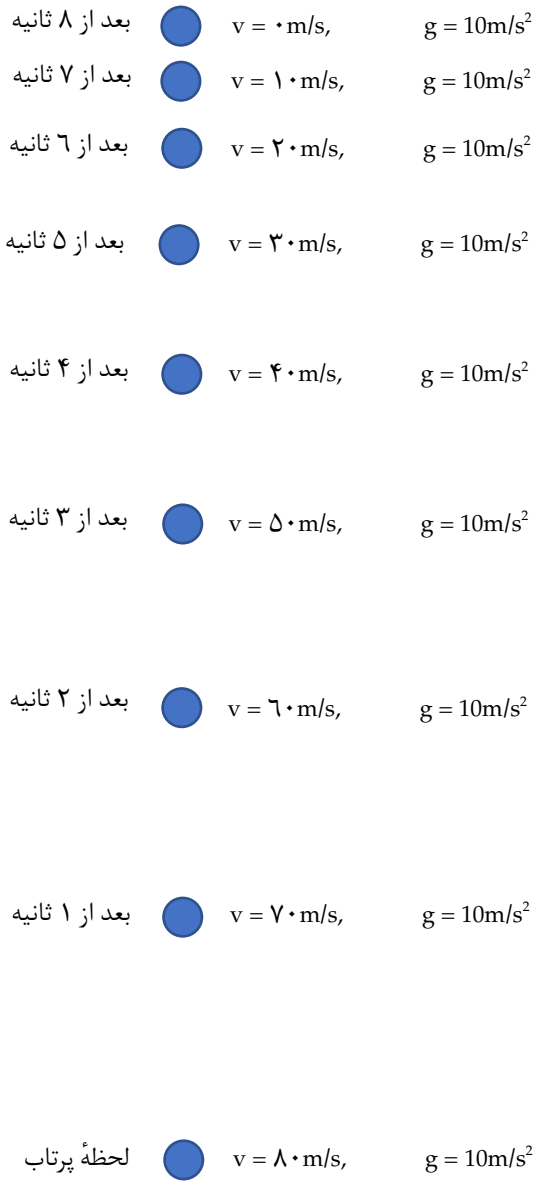


حالا بیاید به صورت جزئی‌تر فیزیک مسئله را بررسی کنیم. در کل چه چیز نمی‌گذارد اجسام روی زمین به فضا بروند؟ خب طبیعتاً گرانش زمین مسئول این قضیه است. می‌دانیم که گرانش با فاصله از مرکز زمین افت می‌کند. اگر فاصلهٔ ما از مرکز زمین مثلاً ۱۰۰۰۰کیلومتر باشد و در آنجا فقط به اندازهٔ مثلاً ۱کیلومتر بالا و پایین شویم، این تغییر ارتفاع چندان به چشم نمی‌آید و به همین خاطر جاذبه در این بالا و پایین شدن تغییر چندانی پیدا نمی‌کند. شعاع زمین ٦۴۰۰کیلومتر است، بنابراین وقتی روی سطح زمین هستیم از مرکز آن ٦۴۰۰کیلومتر فاصله داریم، به خاطر همین برای ما و تغییر ارتفاع دادنهای کوچکمان جاذبهٔ زمین ثابت به نظر می‌رسد. با این فرض است که نیروی جاذبه‌ای که به یک جرم وارد می‌شود را ثابت و برابر با mg در نظر می‌گیریم. (g شتاب جاذبه و روی سطح زمین تقریباً برابر با ۱۰متربرمجذورِثانیه است.)

فرض کنید شتاب جاذبه ثابت و برابر با همان ۱۰متربرمجذورِثانیه باشد. آنوقت اگر جسمی را مثلاً با سرعت ۸۰متربرثانیه به بالا پرتاب کنیم، در هر ثانیه از سرعت آن به اندازهٔ ۱۰متربرثانیه کاسته می‌شود. بنابراین ۸ثانیه طول می‌کشد تا این جسم سرعتش صفر شود. پس از آنکه سرعت صفر می‌شود، جسم دیگر بالا نمی‌رود، از اینجا به بعد سرعت رو به پایین خواهد شد. پس نقطه‌ای که سرعت در آن صفر می‌شود، اوجِ ارتفاعی است که جسم می‌تواند بگیرد و بیشتر از آن بالا

[7] Encyclopedia Astronautica, Shuttle ISS: http://www.astronautix.com/s/shuttleiss.html
[8] https://www.nasa.gov/centers/kennedy/about/information/shuttle_faq.html#10
[9] https://www.statista.com/statistics/268750/global-gross-domestic-product-gdp/

نمی‌رود. پس از نقطهٔ اوج باز هم در هر ثانیه ۱۰متربرثانیه به سرعت جسم به طرف پایین اضافه می‌شود و درست ۸ثانیه بعد، جسم با همان سرعتی که پرتاب شده بود به مکان اولیهٔ خود برمی‌گردد. (البته اینها به شرطی است که مقاومت هوا نداشته باشیم.)



دقّت کنید که در تصویر بالا، سرعتِ هر لحظه از سرعت لحظهٔ قبلِ خود منهای شتاب جاذبه در آن لحظه بدست می‌آید. وقتی شتاب جاذبه ثابت باشد، جسم را با هر سرعتی که پرتاب کنید بالاخره زمانی به نقطهٔ اوج خود خواهد رسید و باز خواهد گشت. امّا اگر شتاب جاذبه با ارتفاع کم شود قضیه متفاوت خواهد بود. در هر لحظه از مسیر شتاب جاذبه می‌تواند چنان کاهش یابد که سرعت هیچگاه صفر نشود. در این حالت جسم هیچگاه به ارتفاع اوج نمی‌رسد و درنتیجه هیچگاه به زمین برنخواهد گشت؛ به اصطلاح *از جاذبهٔ زمین فرار کرده است*.

اگر جسم را از دورترین فاصلهٔ ممکن نسبت به زمین رها کنیم، جسم بسیار بسیار آرام تحت جاذبهٔ شدیداً ضعیف زمین، کشیده خواهد شد و شروع به حرکت به طرف زمین خواهد کرد. در این راه آرام آرام سرعت کسب می‌کند و در نهایت بالاخره با سرعتی مشخص (V) به سطح زمین

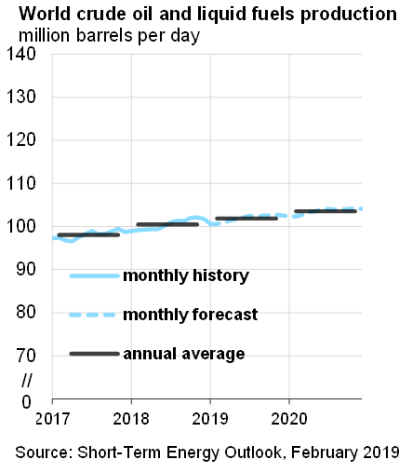
می‌رسد. حالا اگر برعکس، جسم را با همان سرعت V از سطح زمین پرتاب کنیم، تا دورترین فاصلهٔ ممکن خواهد رفت. به V سرعت فرار زمین می‌گوییم، چرا که اگر جسم را با سرعتی بیشتر از V پرتاب کنیم حتی در دورترین فاصلهٔ ممکن نیز سرعتش صفر نمی‌شود و به اوج خود نخواهد رسید، و بنابراین هیچگاه به زمین بازنخواهد گشت.

اگر خواستید در این مرحله یک استراحتی بکنید!

اگر موشکی بخواهد زباله‌ها را از جاذبهٔ زمین فراری دهد باید آنها را به سرعت فرار زمین برساند. سرعت فرار زمین ۱۱٫۲کیلومتربرثانیه است. (طریقهٔ بدست آوردن این سرعت را در اینجا نمی‌نویسم تا متن شلوغ نشود. اگر در این رابطه توضیحاتی خواستید به ایمیل کانال پیامی بفرستید.) انرژی جنبشیِ ۱کیلوگرم آشغال که با سرعت ۱۱٫۲کیلومتربرثانیه حرکت می‌کند برابر است با:

$$\frac{۱}{۲}mv^2 = \frac{۱}{۲} \times ۱ \times ۱۱۲۰۰^۲ \text{ژول} = ۶۲,۷۲۰,۰۰۰ \text{ژول}$$

یک لیتر سوخت عادّی حدود ۳۰میلیون ژول انرژی دارد. پس برای اینکه به ۱کیلوگرم آشغال انرژی جنبشی بالا را بدهیم دستِ‌کم به ۲لیتر سوخت احتیاج داریم. پس برای شوت کردن پسماند سالانه به فضا به ۴٫۲تریلیون لیتر سوخت در سال احتیاج هست. مقدار زیادی است نه؟ یک سؤال خوب می‌تواند این باشد که میزان تولید سالانهٔ سوخت در سراسر جهان چقدر است[10]:



شکل 5. میزان روزانهٔ تولید نفت و سوختهای مایع در جهان

حدود ۱۰۰میلیون بشکه یا ۱۵۹۰۰میلیون‌لیتر در روز که می‌شود حدود ٦تریلیون لیتر در سال. تقریباً با مقداری که برای سفر فضایی آشغالها لازم بود برابر است. بنابراین اگر تمام کارهایی که در دنیا نیاز به سوخت دارند را متوقف کنیم می‌توانیم انرژی جنبشی‌ای که آشغالها باید برای فرار از زمین کسب کنند را تأمین کنیم. البته خب، اگر تمام کارهای محتاج سوخت را متوقف کنیم مشکل تولید زباله عملاً خود به خود حل می‌شود چون بسیاری از تولیدات نیز از کار خواهند افتاد.

تمام حرفهای بالا مشروط به این است که تبدیل انرژی سوخت به انرژی جنبشی آشغال به صورت مستقیم و با بازده ۱۰۰٪ انجام شود.[11] امّا نه بازده صددرصد است و نه این تبدیل به صورت مستقیم صورت می‌گیرد؛ بالاخره یک چیزی نیاز داریم تا این انرژی را به زباله منتقل کند. مثلاً باید زباله را سوار موشکی چیزی کرد و موشک را شتاب داد. در این صورت انرژی جنبشی لازم برای فرار از جاذبهٔ زمین نه تنها برای زباله

[10] https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php

[11] تازه تا اینجا از مقاومت هوا هم صرف نظر کردیم.

بلکه برای کل موشک نیز باید در نظر گرفته شود. مثلاً همین موشکهای **فالکون سنگین** که اخیراً مشهور شده‌اند را در نظر بگیرید. مقدار باری که این موشکها می‌توانند تا مداری از زمین حمل کنند حدود ۳۰,۰۰۰کیلوگرم است، در حالی که جرم خود موشک ۱,۵۰۰,۰۰۰کیلوگرم است.[12] البته باید در نظر داشت که کل این مقدار به سرعت فرار نمی‌رسد، چون هرچه سوخت موشک بیشتر مصرف می‌شود، موشک سبکتر و سبکتر می‌گردد. در هر صورت اگر بخواهیم کل این جرم را به سرعت فرار برسانیم به ۵۰برابر انرژی قبلی نیاز داریم. این انرژی معادل است با حدود ۲۰۰تریلیون لیتر سوخت. از عواقب مخرّب زیست محیطی و هزینهٔ هنگفت آن که بگذریم، اصلاً این مقدار سوخت را از کجا بیاوریم؟!

ضمناً الان بد نیست اشاره کنیم که با اضافه کردن مقاومت هوا، انرژی هدر رفته توسط اصطکاک را نیز باید به سوخت مورد نیاز خود اضافه کنیم. تأثیر مقاومت هوا تقریباً معادل است با افزایش سرعت فرار به اندازهٔ ۲کیلومتربرثانیه. خود همین سوخت مورد نیاز را دوبرابر می‌کند.

مسئلهٔ

- اگر فقط پسماندهای هسته‌ای را به فضا بفرستیم چه؟
  - آنها نیز سنگین و پرخرج هستند و پیامدهای خطا در پرتابشان می‌تواند بشریت را با هیولای چند سر دیگری روبرو کند.
- نمی‌توانیم زباله‌ها را در آتشفشان بسوزانیم؟
  - خب اگر بسوزانیم که به صورت دود و گازهای مضرّ وارد هوا می‌شوند.
  - کدام آتشفشان سالانه به اندازهٔ ۳۲۳هرمِ بزرگ جیزه جا دارد؟
- اگر علم بشر رفته‌رفته پیشرفت کرده و تکنولوژی موشکها و صنایع فضایی را نیز پیشرفت دهد چه؟
  - دیدیم که حجم زباله خیلی بیشتر از این حرفهاست. امّا همانطور که در آغاز بحث کردیم، گیریم که با زمان تکنولوژی فضایی پیشرفت کند؛ میزان تولیدات زباله نیز هر سال در حال افزایش چشمگیری است.

بنابراین گرچه فراری دادن آشغالها خلاف قواعد فیزیکی نیست، امّا با توجه ظرفیت بشر و کرهٔ زمین، این ادعا نادرست اعلام می‌گردد.



Background picture is licensed under CC BY-ND

[12] https://www.spacex.com/falcon-heavy