



حسن فتاحی*

● منظومه شمسی خانه ماست؛ جایی که ستاره حیات بخش ما، خورشید و سیارات سنگی، سیارات گازی، سیاره کوتوله، کمربند سیارک‌ها، دنباله‌دارها، ابر اورت و بسیاری اجرام ریزدرشت دیگر همگی با محوریت خورشید در گوشه‌ای از کهکشان راه شیری و در فاصله ۲۵ تا ۲۸ هزار سال نوری از مرکز کهکشان قرار دارند. زمین سومین سیاره از خانواده پرجمعیت منظومه شمسی است و همراه با دیگر اعضای خانواده خورشیدی به دور مرکز کهکشان راه شیری در حال حرکت است. کل سامانه با سرعت ۲۲۰ کیلومتر در ثانیه در حرکتی آرام و پیوسته به پیش می‌رود.

از زمانی که زمین مرکز عالم بود و ماه و ستارگان و خورشید به دور آن می‌چرخیدند تا زمانی که خورشیدمرکزی تثبیت شد و قوانین گرانش نیوتن نحوه حرکت و مدار سیارات به دور خورشید را توضیح داد، خاستگاه منظومه شمسی یکی از سوالات بنیادی ذهن بشر بوده است. اولین فردی که به طور جدی درباره نحوه شکل‌گیری منظومه شمسی فکر کرد، ریاضی‌دان فرانسوی، پی‌یر سیمون لاپلاس بود. کسانی که در دانشگاه در رشته‌های فنی و مهندسی یا علوم پایه درس خوانده‌اند نام لاپلاس را در درس معادلات دیفرانسیل با تبدیلات لاپلاس شنیده‌اند، اما او به جز ریاضیات در نجوم هم صاحب‌نظر بود. لاپلاس درست قبل از انقلاب فرانسه و در یک خانواده روستایی به دنیا آمد. تاریخ تولدش ۲۳ مارس ۱۷۴۹ و درگذشت او ۷۸ سال بعد به تاریخ ۱۸۲۷ ثبت شده است. او برخلاف همکار شیمی‌دان و دانشمندش، لاوناز به کا یوتین سرش از تش جدا شد، زندگی تاسا رami داشت و وقتی به لقب نجیب‌زادگی دست یافت، دار فانی را وداع گفت.

بنابر تعریفی کلی درباره شکل‌گیری منظومه شمسی چنین نوشته شده است: ۴۰۶ میلیارد سال پیش بر اثر رمبش گرانشی ابر مولکولی غول‌پیکری در فضای میان‌ستاره‌ای، خورشید در مرکز و دیگر اجرام نظیر سیارات و سیارک‌ها و اقمار و... حول آن شکل گرفته‌اند. اما این تمام ماجرا نیست و وقتی می‌خواهیم با جزئیات بیشتر و دقیق‌تر منشأ منظومه شمسی را بکاویم، با سوالات بی‌پاسخ زیاد و نیز نظریه‌های متنوعی روبرو می‌شویم.

لاپلاس دریافت چهار ویژگی از خصوصیات منظومه شمسی راهنمای منشأ آن است؛ اول اینکه تمام سیارات در یک جهت می‌چرخند؛ یعنی اگر شما می‌توانستید بالای قطب شمال زمین در ارتفاعی زیاد بنشینید و پایین؛ یعنی منظومه شمسی را نگاه کنید، مشاهده می‌کردید که تمام سیارات بر خلاف جهت عقربه‌های ساعت به دور خورشید می‌چرخند. دومین راهنمایی این است که تمام سیارات دایره است. آنجا که در زمان لاپلاس شناخته شده بود، در راستای یکسانی روی محورشان می‌چرخند. سومین گواه این است که تمام سیارات روی قرص یکسانی به دور خورشید می‌چرخند و آخرین ویژگی که البته با دانش امروزی می‌توانیم اشتباه‌بودن آن را تصور کنیم این است که مدار سیارات دایره است. البته با دریافت آن منظومه شمسی به واسطه چرخش ابرهای گازی به وجود آمده باشد، می‌توان این چهار ویژگی را توضیح داد. لاپلاس که با مکانیک سماوی و مکانیک تحلیلی و نیز ریاضیات عالی آشنایی کافی داشت، خاستگاه منظومه شمسی را این‌طور شرح داد: ابر تحت‌تاثیر گرانش دچار رمبش شده است، رمبش در طول محور چرخش به دلیل نیروی جانب مرکز رخ داده است؛ مانند نیرویی که ایستادن روی چرخ‌وفلک را برای ما دشوار می‌کند. بنابراین ابر روی خودش فروخواهد ریخت و تشکیل یک قرص را خواهد داد. لاپلاس بیان کرد وقتی که گاز سرد شد به حلقه‌هایی شبیه به حلقه‌های زحل تفکیک خواهد شد. با تلفیق تدریجی حلقه‌ها، سیارات و جسمی در مرکز قرص به‌عنوان خورشید شکل می‌گیرد. نظریه لاپلاس توضیح می‌دهد که چرا سیارات در مدارهای دایره‌ای و در راستای مشابه به دور خورشید می‌چرخند.

مسدرد برجای‌مانده از نوشته‌های لاپلاس راستای چرخش سیارات را این‌گونه شرح می‌دهد که مواد در لبه‌های داخلی آن آهسته‌تر حرکت می‌کنند که منجر به چرخش سیاره هنگام شکل‌گیری‌شان از مواد حلقه می‌شود. لاپلاس به دلیل دانستن علم ریاضی در سطح بالا و همکارانش با برخی دانشمندان دیگر و نیز پاسخی که در ناپلئون داد، مشهور شده است، اما نظریه او درباره تشکیل منظومه شمسی اولین نظریه جدی در این‌باره بود. او به دلیل عدم پیچیدگی نظریه‌اش احساس نامطلوبی داشت و تقریباً با احساس گناه نظریه‌اش را به شکل پاورقی در کتاب پنج‌جلدی مکانیک کلاسیکی این‌گونه بیان کرد: البته با احتساب عدم قطعیتی که با هر آنچه جز نتیجه مشاهده تجربی و محاسبه باشد، همراه است. بعدتر دانشمندان پاورقی لاپلاس را به نظریه‌ای مدرن تبدیل کردند.

♦ عضو هیئت تحریریه فصلنامه نقد کتاب علوم محض و کاربردی

علی میرزایی‌پری*

گزارش سازمان بین‌المللی کار نشان می‌دهد هر روز پنج هزار نفر^۱ در دنیا جان خود را به علت حوادث و بیماری‌های ناشی از کار از دست می‌دهند و این امر هزینه‌های هنگفتی، معادل چهار درصد از تولید ناخالص داخلی در جهان را به جوامع تحمیل می‌کند. این در حالی است که بنا بر عقیده کارشناسان، بیش از ۸۰ درصد از این‌گونه حوادث و خطرات را می‌توان با تدابیری ساده و البته کم‌هزینه کنترل کرده و مانع از بروز آنها شد.^۲ همه سازمان‌ها به‌خصوص سازمان‌هایی که مسئولیت ارائه خدمات فوری به جامعه را بر عهده دارند، موظف‌اند محیط و شرایطی را فراهم آورند که در آن آسیب و زبانی متوجه مشتریان و کارکنان سازمان نباشد؛ در این میان سازمان‌های بهداشتی و درمانی به علت ماهیت ویژه فعالیت‌شان اهمیت خاصی دارند. ۷۵ درصد از گزارش‌های واصل‌شده از بیمارستان‌های انگلیس، حاکی از آن است که کارکنان و مراجعان در معرض عوامل زیان‌آور قرار گرفته و حدود ۱۷ درصد از کارکنان مشغول به ابتلا به بیماری‌های مرتبط با شغل‌شان هستند. در آمریکا نیز روزانه تعداد زیادی از بیماران، همراهان و کارکنان پزشکی و بهداشتی، به علت حوادث بیمارستانی آسیب می‌بینند. رایج‌ترین خطرات بیمارستان‌ها عبارت‌اند از نقص تجهیزات، قطع درمان، به‌رووری نامناسب از منابع، مرگ در حین عمل، نمونه‌گیری نامناسب، پاپ‌آسیر و خطا در دوز دارویی. در اقتصادهای توسعه‌یافته امروزی، اهمیت و نقش مدیریت ریسک در تحقق اهداف سازمانی به‌خوبی شناخته شده است و به‌دستی از دستاوردهای آن بهره گرفته می‌شود. این در حالی است که در بیشتر کشورهای درحال‌توسعه، با وجود خسارت‌های چشمگیر و فرصت‌سوزی‌هایی که در نتیجه نبود سیستم‌های مدیریت ریسک بر اموال و دارایی‌ها، امکانات و نیروی انسانی این جوامع وارد آمده و می‌آید، هنوز هم این شناخت و توجه به مقوله مدیریت ریسک صورت نگرفته است. بااین‌حال در کشور ما صنایع نظامی، نیروگاهی، نفت و گاز^۳، به‌عنوان صنایعی زیربنایی که از رشد بالایی برخوردار بوده و حساسیت‌ها و ارزش‌های اقتصادی بالایی در آنها متمرکز است، اقبال درخور توجهی به بحث ریسک و مدیریت اثربخش و کارای آن نداشته‌اند. آنچه درخور تأمل است، این است که مدیریت ریسک در حال تبدیل‌شدن به ضرورتی سازمانی است که بی‌توجهی به آن، مدیریت سازمان‌ها را با چالش‌های شایان توجهی روبرو خواهد کرد. این ضرورت در سازمان‌هایی که گستره و تنوع فعالیت‌های آنها زیاد بوده و فضای کسب‌وکار آنها پیچیده و رقابتی است، بیش از پیش احساس می‌شود. ضرورت انجام مدیریت ریسک در مراکز درمانی با توجه به رسالت بسیار مهمی که بر عهده آنهاست و نیز گستره و تنوع ذی‌نفعان مرتبط و از همه مهم‌تر وجود عدم قطعیت‌های متعدد و متنوع در آنها، دوجندان است.

مدیریت ریسک در سیستم بهداشت و درمان^۴

تلاش‌هایی که در دهه‌های اخیر به منظور بهبود شرایط ایمنی و بهداشتی محل کار در دنیا صورت گرفته است، نشان می‌دهد برخلاف تصور موجود، اعمال و شرایط نالاین و غیربهداشتی^۵ دو عامل ثانویه در بروز حوادث و عوارض ناشی از کار هستند و ریشه‌ای این امر را باید در نبود یک سیستم مدیریت ریسک در سازمان‌ها جست‌وجو کرد. مدیریت ریسک^۶ در سازمان‌های مراقبت بهداشتی شامل سیستم‌های بالینی و اداری، فرایندها و گزارش‌هایی است که برای شناسایی، نظارت، ارزیابی، کاهش و جلوگیری از خطرات استفاده می‌شود. مدیریت ریسک با کاهش خطاها و رویدادهای نامطلوب باعث افزایش ضریب ایمنی و امنیت در مراکز درمانی شده و به‌طور مستقیم در کاهش خسارت‌ها و ضرر و زیان‌های مادی و معنوی مؤثر است. همچنین با توجه به اینکه ریسک‌ها ذاتاً همیشگی و محدود نشده و هرگونه سهل‌انگاری، بی‌توجهی و امل‌گرایی می‌تواند آنها منجر به پیگردهای قانونی و مقرراتی می‌شود. می‌توان با قاطعیت اظهار کرد که مدیریت ریسک با پاسخ‌گویی به الزامات قانونی و مقرراتی، فضایی امن و اطمینان‌خاطر را برای مدیریت مراکز درمانی به ارمغان خواهد آورد؛ اما باید توجه داشت که تمام مزایای مدیریت ریسک به موارد ذکرشده محدود نشده و مراکز درمانی در پرتو مدیریت اثربخش و کارای مدیریت ریسک می‌توانند ایمنی بیماران و همچنین دارایی‌های سازمان و سهم از بازار خود را -با توجه به حساسیت بسیار بالای موضوع درمان در نزد آحاد جامعه- به نحو درخور توجهی ارتقا داده و در نتیجه شاهد افزایش سطح دریافتی‌ها و بهبود اعتبار و برند خود نزد مشتریان باشند. مدیریت ریسک به مدبران مراکز درمانی کمک می‌کند به صورتی سیستماتیک، بهنگام و نیز یکپارچه به مدیریت ریسک‌های سازمانی خود (ریسک‌های مرتبط با کار درمان، بیماران، محیط زیست، خطاها و اشتباهات، دستگاه‌ها و تجهیزات و...) بپردازند.

دورنمای مدیریت ریسک در خدمات سلامت

استقرار مدیریت ریسک مراقبت‌های بهداشتی به‌طور سنتی بر نقش مهم ایمنی بیمار و کاهش خطاهای پزشکی تأکید داشته است که به توانایی سازمان برای دستیابی به مأموریتش ضربه وارد کرده و مسئولیت‌های مالی ایجاد می‌کرد. اما با وجود افزایش نقش فناوری در مراقبت‌های بهداشتی، افزایش نگرانی‌ها در مورد امنیت سایبری، تغییر سریع دانش پزشکی، صنعت و مبانی

بهبود کیفیت خدمات بهداشتی و درمانی با مدیریت ریسک بیمارستانی

الفبای تقصیر، اتهام و ایرادگیری در حال محوشدن است



مدیریت ریسک با کاهش یا حذف رویدادهای ناخواسته، به بهبود کیفیت خدمات در ملی کمک می‌کند

هزینه‌های بیمه‌ای است. به‌طور کلی مدیریت ریسک مالی روندی برای محافظت از دارایی‌ها و به‌حداقل‌رساندن زیان مالی به سازمان است. این فرایند، اقدامی پیشگیرانه برای کاهش فرکانس و شدت وقایع غیرمنتظره، کاهش ادعاهای قانونی، بالابردن قابلیت اطمینان، طراحی سیستم و مواجهه‌شدن بیمارستان با بحران نقدینگی است. در حال حاضر مدیریت ریسک اعتبار و اهمیت ویژه‌ای یافته است چراکه تعداد ادعاها علیه بیمارستان‌ها در حال افزایش بوده و آسیب‌ها بیشتر شده‌اند و نهایتاً اینکه تبلیغات نامطلوب می‌توانند بر شهرت بیمارستان‌ها اثر سوء بگذارند.

آموزش کارکنان و مدیریت ریسک

کمیسیون مشترک اعتبارسنجی سازمان‌های بهداشت و درمان گزارش می‌دهد آموزش، دومین علت حوادث کشنده در مراقبت‌های بهداشتی و درمانی بوده است. این بررسی که از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ انجام شده است، نشان می‌دهد کمبود یا محدودیت‌های آموزشی کارکنان یکی از معمول‌ترین عوامل مرتبط با خطای کارکنان در تحلیل عوامل ریشه‌ای بوده است.^{۱۲} بسیاری از سازمان‌ها برای به‌دست‌آوردن خروجی مورد نظر از سیستم کار تیمی استفاده می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد با کار تیمی به‌ویژه در شرایط پیچیده، احتمال وقوع خطا افزایش می‌یابد. در مقابل زیرمجموعه‌ای از سازمان‌های مهم نیز وجود دارند که در آن گروه‌هایی کار می‌کنند که قادر به برقرارکردن تعادل بین مؤثربودن و ایمنی هستند (مانند حمل‌ونقل هوایی و نیروگاه‌های هسته‌ای). این سازمان‌ها با قابلیت‌تایان بالا به مدلی برای حوزه‌های پیچیده دیگری مانند مراقبت بهداشتی -که تلاش می‌کند به بالاترین سطح اطمینان دست یابد- تبدیل شده‌اند. نیاز به آموزش به کارکنان عادی و آموزش‌های تخصصی به کارکنان دائمی مرکز محدود نمی‌شود. استفاده روزافزون از متخصصان و کارشناسانی که از طرف شرکت‌های تجاری و بخش دولتی برای اقدامات کوتاه یا بلندمدت، به بیمارستان خدماتی ارائه می‌دهند، جهت‌گیری و چالش‌های آموزشی جدیدی ایجاد کرده است، زیرا مردم انتظار دارند همه افراد ذیل در خدمات سلامت، صرف‌نظر از وضعیت اشتغال قراردادای که با بیمارستان دارند، افراد شایسته‌ای باشند؛ برای مثال افرادی که مسئولیت‌هایی شامل نگهداری یا کالیبراسیون، تیزکردن روزنه و ضدعفونی یا استریل‌سازیوس دستگاه‌های پزشکی خاص را دارند، نیازمند آموزش حرفه‌ای هستند. سازمان‌های مراقبت بهداشتی باید پارامترهای عملکردی مبتنی بر شایستگی را برای هر دسته حرفه‌ای توسعه و پیاده‌سازی کنند. دسته صلاحیت حرفه‌ای مورد نیاز باید با الزامات قانونی هر گروه حرفه‌ای مطابق باشد.

گزارش‌دهی خطاهای پزشکی

اولین گام و نیروی محرکه هر سیستم مدیریت خطری، شناسایی و ارزیابی خطرات است. چنانچه این ارزیابی‌ها به‌صورت مستمر انجام شود، می‌تواند درصد موفقیت سیستم مدیریت ریسک را بالا ببرد. سیستم‌های بهداشتی درمانی به‌دلیل استفاده از تکنولوژی پیشرفته و پیچیدگی فرایندها و حساسیت خدمات آن، به دور از خطاهای پزشکی نخواهند بود؛ بنابراین مدیران و سیاست‌گذاران سیستم بهداشتی فرهنگ سرزنش در بیمارستان‌ها- را در راستای ارتقای ایمنی بیماران و کارکنان اتخاذ کنند. خطای پزشکی یک عمل ناخواسته است که به‌دلیل غفلت اتفاق می‌افتد یا عملی است که به نتیجه مطلوب در امر طبابت منجر نمی‌شود.^{۱۵} در سازمان‌های ارائه‌کننده مراقبت بهداشتی، بهبود فرهنگ ایمنی بیمار و انتقال از فرهنگی که باور بر آن دارد که هیچ خطا و آسیبی اتفاق نمی‌افتد، به فرهنگی که مشوق گزارش‌دهی، حتی گزارش خطاهایی است که در آن به بیمار آسیبی نرسیده، می‌تواند نقش مهمی در پیشگیری از خطاها و ارتقای کیفیت داشته باشد. این امر می‌تواند با زیرساخت‌ها و فرهنگ مناسب برای گزارش خطاهای بیمارستان‌ها فراهم شود که یکی از روش‌های رایج در مدیریت خطاهای پزشکی است. هدف اولیه از

سیستم‌های گزارش‌دهی خطاهای پزشکی، یادگیری از خطاهای گزارش‌شده و راهکارهای پیشنهادی است. گزارش کم خطاهای پزشکی می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد؛ پرستاران وجود خلاهای قانونی، نامناسب‌بودن واکنش مدیران پرستاری و بزرگ‌بودن شدت اشتباه را به‌عنوان دلایل اصلی گزارش‌ندادن خطاهای پزشکی معرفی کرده‌اند. به‌طور مشابه، ترس از قوانین و تهدیدهای شغلی، آگاهی‌نداشتن از خطاهای پزشکی و نحوه گزارش آن، ترس از واکنش مدیران و پیامدهای گزارش، از جمله عواملی هستند که در مطالعات به‌عنوان موانع گزارش‌دهی خطاهای پزشکی معرفی شده‌اند.^{۱۶} مسئولیت مبتنی بر تقصیر، نظریه‌ای قدیمی است که در غرب مطرح شده و طرفداران بسیاری داشته است. مطابق مبانی این نظریه کسی که مرتکب تقصیری شده باشد، مسئول نبوده و انواع حالات و رفتارهای انسان که موجب خسارت شده‌اند، به‌عنوان مقصر قلمداد می‌شوند؛ اما به‌تدریج این نظریه در حال دودشدن و به‌هوا رفتن است. به گفته تام هلمیچ، نویسنده کتاب مدیریت ریسک در سیستم‌های بهداشت و درمان، آموزش‌های پزشکی که بر الفبای «تقصیر»، «اتهام» و «ایرادگیری» تأکید می‌کند، در حال محوشدن است و به‌جای این طرز فکر، فرهنگ ایمنی‌ای در حال رشد است که بر اصول گزارش‌دهی بی‌پروا، سیستم‌های با موفقیت بالا، دانش، احترام، محرمانگی و اعتماد تکیه دارد.

پی‌نوشت‌ها:

- 1- Introduction to Health and Safety at Work By Phil Hughes, Ed Ferrett.
- 2- CNA HealthPro
- 3- Rayane Oliveira Cedraz, Risks management in the hospital environment: incidence and risk factors associated with falls and pressure injuries in a clinical unit, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- 4- Enterprise Risk Management in the Oil and Gas Industry: (Evidence from World and Iran as a Developing oil-export based Economy), Seyedeh Farokh Nikoo.
- 5-HEALTHCARE MANAGEMENT Kieran Walshe and Judith Smith (eds).
- 6-https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2639900/
- 7- K. Woodfin, “History of health care risk management programs” inCore Risk Services, Inc., Sandy, Utah, n.d.
- 8- Healthcare Financial Management Association.
- 9- Enterprise Risk Management
- 10- Effective Health Care Risk Management Programs: Components for Success. [Online]. Available: www.Chubb.com
- 11- Thomas, Eric J.; Studdert, David M.; Newhouse, Joseph P., et al. Costs of Medical Injuries in Utah and Colorado. Inquiry. 36:255-264,1999. See also: Leape, et al., 1991. Brennan, et al., 1991.
- 12-https://catalyst.nejm.org/what-is-risk-management-in-healthcare
- 13 -https://frontenderss.blogspot.com/2017/05/how-to-prevent-risk-in-hospital.html
- 14- JCAHO. Sentinel event statistics. [Online] Available: www.jcaho.org
- 15- Grober ED, Bohnen JMA. Defining medical error. Can J Surg. 2005;48(1):39-44
- 16- Madsen MD, Ostergaard D, Andersen HB, Hermann N, Schioler T, Freil M. The attitude of doctors and nurses towards reporting and handling errors and adverse event. Ugeskr Laeger. 2006;168(48):4195-200.

♦ کارشناس ارشد مهندسی پزشکی



سحر سرگلزایی

● تصور کنید چه اتفاقی می‌افتد وقتی یک شیء خاص مانند یک صفحه از کتاب را مشاهده می‌کنید. نور، از خورشید یا لامپ تابیده، به‌طور مستمر از صفحه منعکس می‌شود و برخی از این نورها ممکن است وارد چشمان شما شود. با این کار، شبکه‌ی چشم تحریک می‌شود و به این وسیله باعث می‌شود یک سیگنال از طریق عصب بینایی به مغز شما ارسال شود. سپس مغز این سیگنال را کشف رمز کرده و کلماتی را که چاپ می‌شوند، می‌خواند. نکته کلیدی این است که برای اینکه شما کلمات را ببینید، نور باید منعکس شود؛ در واقع، باید از سطح صفحه فرار کند.

فرض کنید ما در سطح ستاره‌ای قرار گرفته و از یک تانک توپ استفاده می‌کنیم. توپ تنیس را به سمت بالا شلیک کنید. مسافت طی‌شده توسط توپ، زمانی که در هوا رها شده، تعیین می‌شود. اگر توپ به اندازه کافی سریع حرکت کند، می‌تواند از گرانی ستاره فرار کند. در آن صورت، هرگز نیازی به سقوط روی سطح ندارد.

اگر ستاره شروع به رمبش کند، چه اتفاقی خواهد افتاد؟ چگالی آن به‌تدریج افزایش می‌یابد و نیروی گرانش در نزدیکی سطح آن قوی‌تر خواهد بود. این به آن معنی است که توپ باید با سرعت بیشتری نسبت به قبل رها شود تا بتواند فرار کند. اگر فرایند رمبش بدون مانع باشد، تراکم و کشش گرانشی ستاره به‌زودی افزایش چشمگیری خواهد یافت. در برخی از مراحل سقوط توپ قادر به فرار از ستاره نخواهد بود مگر اینکه با سرعتی بیش از سرعت نور حرکت کند. از آنجا که هیچ چیز نمی‌تواند سریع‌تر از نور حرکت کند، توپ هرگز نمی‌تواند از آن نقطه که پرتاب شده، فرار کند. (گفتنی است رمبش برابر نهادوازه collapse است و به زبان ساده به معنای غلبه نیروی گرانش ناشی از جرم لایه‌های ستاره بر نیروی فشار ناشی از گرما است).

ممکن است توپ همیشه به سطح بازگردد؛ صرف‌نظر از اینکه با سرعتی از تانک شلیک شده است. وقتی رفتار نور را هنگامی که از سطح ستاره ساطع شده، در نظر بگیریم، نتیجه مشابهی می‌گیریم. قبل از اینکه ستاره رمبش کند، نور قادر بود به طرف خارج فرار کرده و در فضا حرکت کند تا به ناظر برسد که چندین سال نوری دور از ستاره است و ناظر حداقل می‌تواند دیده شود. پس از آنکه نیروی گرانشی در اطراف ستاره به اندازه کافی بزرگ شد، فرار نیز برای تابش غیرممکن می‌شود. ازاین‌رو، هر نوری قادر به رسیدن به ناظر دوردست نبوده و ستاره به‌طور مؤثر از نظر ناپدید می‌شود. در این مرحله گفته می‌شود ستاره یک سیاه‌چاله تشکیل داده است. در این حالت، ستاره دیگر به‌طور مستقیم دیده نمی‌شود و به‌طور مؤثر سیاه است. هر چیزی که بیش از حد به ستاره نزدیک شود، به دلیل مشابه قادر به فرار نخواهد بود. اگر ناظر ما یک شیء مانند توپ تنیس پرتاب می‌کرد، توپ از بقیه جهان دور می‌شد. تا آنجا که به ناظر مربوط می‌شود، به نظر می‌رسد توپ داخل سوراخی کیهانی افتاده است. اگر بخواهیم آنها را به‌عنوان چیزی بیش از یک موضوع برای داستان‌های علمی-تخیلی ببینیم، نیاز داریم به درک اینکه سیاه‌چاله‌ها در واقعیت ممکن است چگونه باشند. در بحث قبلی این احتمال را که چگونه ستاره ممکن است به یک سیاه‌چاله تبدیل شود، درک کردیم؛ بنابراین دانستن درباره اینکه وقتی ستاره سوخت هسته‌ای خود را تمام کند چه اتفاقی می‌افتد، مفید خواهد بود.

ستاره‌ای که جرمش یک ونیم برابر کمتر از جرم خورشید است، در نهایت به یک کوتوله سفید می‌رمبد. کوتوله سفید در برابر سقوط بیشتر پایدار است؛ زیرا نیروی گرانش درونی با فشار بیرونی ناشی از الکترون‌ها متوازن است. در یک ستاره پرچرم‌تر، نیروی گرانش به اندازه کافی برای غلبه بر این فشار الکترونی قوی است. در برخی موارد، هسته توسط نوترون تحت سلطه قرار می‌گیرد. طبیعت فرمیونی نوترون فشار مشابهی به آنچه در الکترون‌ها در کوتوله‌های سفید بود، تولید می‌کند.

اگر جرم ستاره بیش از حد بالا نباشد، رمبش هسته بر اثر فشار ناشی از نوترون متوقف می‌شود. جرم حاصل ستاره نوترونی نامیده می‌شود. ستاره نوترونی شعاعی حدود ۱۵ کیلومتر دارد و بسیار متراکم است. آیا گرانش می‌تواند به اندازه کافی قوی شود تا بر فشار نوترونی غلبه کند؟ در صورتی‌که ستاره بسیار پرچرم باشد، ممکن است این انتظار را داشته باشیم، در این مورد، اگر جرم ستاره چند برابر بزرگ‌تر از جرم خورشید باشد، نوترون بیشتر قادر به جلوگیری از رمبش نیست. فشار نوترون درهم شکسته خواهد شد؛ در چنین ستاره‌ای همچنان که چگالی و نیروی جاذبه افزایش می‌یابد، دیگر چیزی برای جلوگیری از رمبش وجود ندارد و ستاره به‌سرعت به یک سیاه‌چاله تبدیل می‌شود.