|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Sluneční částice** | **(Celkem bodíků: 10)** | |
|  | Fotony ze slunečního povrchu a neutrina z jeho jádra prozrazují informace o teplotách ve Sluníčku a poskytují také důkaz, že Sluníčko září díky jaderným reakcím.  V této úloze počítejte s následujícími konstantami: hmotnost Slunce , jeho poloměr , zářivost (energie vyzářená celým povrchem za jednotku času), , a vzdálenost Země – Slunce .  Matematické hinty: | |  | |
| **A** | **Sluneční záření:** | |  | |
| A1 | Předpokládejte, že Slunce září jako dokonale černé těleso. Ze zákona vyzařování černého tělesa vypočtěte teplotu povrchu Slunce . | | **0,3** | |
|  | Spektrum vyzařování Slunce lze dobře popsat Wienovým rozdělením. Podle něj je sluneční energie dopadající na zvolenou část povrchu Země odpovídající jednotkovému intervalu frekvencí dopadajícího záření za jednotku času dána vztahem  kde *ν* značí frekvenci záření a je plocha zvolené části povrchu kolmá na směr dopadajícího záření.  Uvažujte nyní solární článek sestávající z tenkého disku polovodičového materiálu o ploše umístěný v kolmém směru k dopadajícím slunečním paprskům. | |  | |
| A2 | Použitím Wienova rozdělení, vyjádřete celkový výkon slunečního záření dopadající na povrch solárního článku pouze pomocí , , , a základních fyzikálních konstant , , . | | **0,3** | |
| A3 | Určete počet fotonů dopadajících na povrch solárního článku za jednotku času v jednotkovém intervalu frekvencí pouze pomocí , , , a základních fyzikálních konstant , , . | | **0,2** | |
|  | Polovodičový materiál solárního článku má „zakázaný pás“ energií . Uvažujme následující model. Každý dopadající foton s energií excituje elektron v polovodiči. Tento elektron přispívá energií , k užitečné výstupní energii článku a jakákoliv další energie ze ztrácí v podobě tepla (není tedy převedena na užitečnou energii). | |  | |
| A4 | Definujme kde . Určete užitečný výstupní výkon článku pouze pomocí , , , , a základních fyzikálních konstant, , . | | **1,0** | |
| A5 | Vyjádřete účinnost solárního článku pouze pomocí . | | **0,2** | |
| A6 | Načrtněte kvalitativně (neurčujte číselné údaje, které nejsou explicitně vyžadovány) graf závislosti účinnosti na. Hodnoty pro a musí být z náčrtku jasně čitelné. Jaká je směrnice grafu v bodech a ? | | **1,0** | |
| A7 | Nechť značí hodnotu , ve které nabývá účinnost svého maxima. Odvoďte kubickou rovnici (rovnici třetího stupně), jejímž řešení je . Odhadněte hodnotu s přesností . Vypočtěte poté . | | **1,0** | |
| A8 | Energie zakázaného pásu čistého křemíku je . Z této hodnoty vypočtěte účinnost křemíkového článku. | | **0,2** | |

Koncem 19. století přišli Kelvin and Helmholtz (KH) s hypotézou vysvětlující záření Slunce. Uvažovali, že Slunce vzniklo jako obrovský oblak hmoty o hmotnosti a o zanedbatelné hustotě. Slunce se dle této hypotézy neustále smršťuje. Záření Slunce lze pak vysvětlit jako uvolňování gravitační potenciální energie během pomalého zmenšování.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| A9 | Uvažujme konstantní hustotu uvnitř Slunce. Určete celkovou gravitační potenciální energii Slunce v současnosti pouze pomocí *G*, a . | | **0,3** |
| A10 | Odhadněte maximální dobu (v letech), po jakou se Slunce dosud mohlo smršťovat podle KH hypotézy. Předpokládejte, že zářivost Slunce byla pořád stejná během tohoto období. | | **0,5** |
|  | Doba vypočtená výše neodpovídá stáří Sluneční soustavy odhadnuté ze studia meteoritů. Tedy, zdroj energie záření Slunce nemůže být čistě gravitační. | |  |
| **B** | **Sluneční neutrina :**  Roku 1938 navrhnul Hans Bethe, že slučování jader vodíku v jádru Slunce na helium je zdrojem jeho energie. Výsledná jaderná reakce je:  „Elektronová neutrina“, , vznikající touto reakcí mohou být považována za nehmotná. Tato neutrina unikají ze Slunce a je možné je na Zemi detekovat. To potvrzuje jaderné reakce probíhající uvnitř Slunce. Energie, kterou si s sebou odnesou neutrina, je v této úloze zanedbatelná. | |
| B1 | Vypočtěte hustotu toku , počtu neutrin, která dorazí na Zemi, v jednotkách . Energie uvolněná při výše uvedené rovnici je . Předpokládejte, že energie vyzářená Sluncem má původ výhradně ve výše uvedené reakci a energie uvolněná libovolnými dalšími procesy je zanedbatelná. | **0,6** | |
|  | Při cestě z jádra Slunce na Zemi se některá elektronová neutrina přeměňují na další rodiny neutrin . Účinnost detektoru při detekci je rovna 1/6 účinnosti detekce . Nepřeměnilo-li by se žádné neutrino, očekávali bychom detekci v průměru neutrin za rok. Z důvodu přeměny však reálně zaznamenáváme průměrně neutrin (a dohromady) za rok. | |
| B2 | Vypočítejte poměr , který říká, jaká část se přemění na a vyjádřete ho pouze pomocí a . | **0,4** | |
|  | Abychom mohli neutrina vůbec zaznamenat, staví se velké detektory naplněné vodou. I přes to, že neutrina reagují s hmotou velmi vzácně, čas od času se stane, že vykopnou z molekuly vody v detektoru elektron. Tyto vysoce energetické elektrony se ve vodě pohybují vysokou rychlostí, přičemž vyzařují elektromagnetické záření. Je-li rychlost takového elektronu větší, než rychlost světla ve vodě (o indexu lomu ), je toto záření, nazývané Čerenkovovo, vyzařováno ve tvaru kuželu. | |
| B3 | Předpokládejte, že elektron vykopnutý neutrinem ztrácí při svém pohybu vodou energii konstantní rychlostí za jednotku času. Vyzařuje-li tento elektron Čerenkovovo záření po dobu , určete energii , kterou neutriono předalo elektronu, pouze pomocí *, , n*,a. (Předpokládejte, že elektron je na počátku před jeho interakcí s neutrinem v klidu.) | **2,0** | |
|  | Slučování H na He uvnitř Slunce se děje v několika krocích. V jednom z těchto mezikroků vzniká jádro (s klidovou hmotností ). To následně může zachytit elektron a přemění se na jádro (s klidovou hmotností < ) za současného vyzáření . Příslušná jaderná reakce je: | |
|  | Když je jádro Be v klidu a absorbuje elektron, který je také v klidu, vyzáří neutrino o energii . Jádra Be se však náhodně tepelně pohybují kvůli teplotě v jádru Slunce a jsou tak pohyblivými zdroji neutrin. Výsledkem je, že energie vyzářených neutrin fluktuuje v intervalu o pološířce . | |
| B4 | Je-li =, spočtěte střední kvadratickou rychlost jader Be, a následně odhadněte hodnotu . (Nápověda: závisí na složce střední kvadratické rychlosti ve směru mezi pozorovatelem a zdrojem). | **2,0** | |